X
Physics Lib.
JAN 9 1948

Akustische Zeitschrift

Im Auftrage der

DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT

unter Mitwirkung der

DEUTSCHEN REICHSPOST und PHYSIKAL.-TECHN. REICHSANSTALT

herausgegeben von

MARTIN GRÜTZMACHER und ERWIN MEYER

1. Walter Kuhl: Messungen zu den Theorien der Eigenschwingungen von Kreisringen beliebiger Wandstärke 125
2. Josef Capek: Die Schalldämpfung von Wänden gegenüber Sprache und Musik 152
3. Mitteilungen des Deutschen Akustischen Ausschusses 156
4. Patentschau 159
5. Schrifttum 167
6. Nachrichten 171

Viertes Heft Siebenter Jahrgang Juli 1942

Verlag von S. Hirzel in Leipzig

Akustische Zeitschrift

Die Zeitschrift erscheint in 6 Heften je Jahrgang. Der Bezugspreis beträgt 10,— RM. je Jahrgang. Von den Originalbeiträgen und zusammenfassenden Berichten stehen den Verfassern 30 Sonderdrucke unberechnet zur Verfügung. Weitere Exemplare werden berechnet und müssen bei Rückgabe der Fahnenkorrekturen bestellt werden.

Schriftleitung:

Dr. Martin Grützmacher, Oberregierungsrat und Mitglied der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin NW 87, Franklinstr. 22

Professor Dr. Erwin Meyer, Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule, Berlin NW 87, Franklinstr. 1

*

Beiträge, sowie alle die Schriftleitung betreffenden Zuschriften werden erbeten an:
Dr. Martin Grützmacher, Berlin NW 87, Franklinstr. 22

WECO

Schall- und Erschütterungs-dämmungen

für Räume, Fußböden, Wände, aufgehendes Mauerwerk, Maschinen, Fundamente usw.

Höchste Molekular-Schalldämmung
Neuzeitliche Buna-Konstruktionen

30jährige Erfahrungen

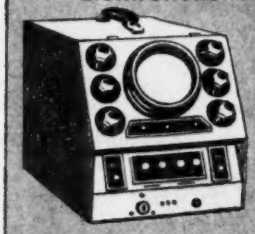
WEISS & CO. - LEIPZIG C 1

AEG
Technisch-physikalische Sondergeräte

Elektronenstrahl-Röhren

sind **Hochvakuumröhren** mit besonders hellem und kleinem Leuchtfleck. Der Schirmdurchmesser beträgt in der Regel bei **Einstrahlröhren** 48, 60, 70 oder 100 mm, bei **Zweistrahlröhren** 100 oder 160 mm. Im Sockel sind alle Zuleitungen vereint. Die Ablenkempfindlichkeit liegt bei etwa 0,2 mm V. Die 100- und 160-mm-Röhren werden auch als **Nachbeschleunigungsröhren** geliefert. Für Sonderzwecke werden Röhren mit Plan- oder Nachleuchtschirm und mit seitlich herausgeführten Meß- und Zeitplatten-Anschlüssen hergestellt.

Elektronenstrahl-Oszillographen



werden als **Klein-, Einstrahl-, Zweistrahl- oder Mehrfach-Oszillographen** und als **Hochleistungs-Oszillographen** für die Aufnahme einmaliger Vorgänge geliefert mit stetig regelbarem Kippkreis, eingebautem Meßverstärker und neben den Anschlußklemmen, direkten kapazitäts- und induktionsarmen Zuleitungen zu den Meßplatten. Die **schräg-liegende Frontplatte** erlaubt eine leichte Beobachtung des Leuchtschirmbildes, wobei in sehr hellen Räumen das ausziehbare Lichtschutzrohr störendes Nebenlicht fernhält. Sämtliche Geräte haben einen abnehmbaren Deckel zum Schutz des Rohres und der Bedienungsteile.

Zubehör

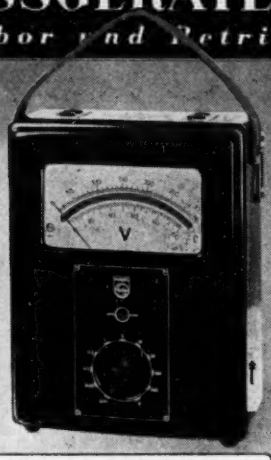
Durch zahlreiches Zubehör werden die Anwendungsmöglichkeiten des Oszillographen wesentlich vermehrt. Die **Nachbeschleunigungs-Einrichtung** liefert die für die etwa 25fache Helligkeitssteigerung des Leuchtflecks erforderliche zusätzliche Hochspannung. Durch diese hohe Leuchtfleckhelligkeit ist mit der **Projektions-Einrichtung** das Abbilden des Schirmes auf eine große Fläche möglich und mit den lichtstarken **Photographier-** und **Registrier-Einrichtungen** die photographische Aufnahme auch kürzester Meßvorgänge durchführbar.

Verlangen Sie ausführliche Druckschriften

ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT
Technisch-Physikalische Werkstätten, Berlin N 65, Seestraße 64

7720

MESSGERÄTE
für Labor und Betrieb



N. F. - VOLTMETER TYP GM 4132
Das Spannungsmessgerät für die Tonfrequenz.
Messbereich: 0,1 mV - 300 V; Frequenzbereich: 25 Hz - 15 kHz
Eingangswiderstand: 1,2 MΩ; Netzspeisung; keine Batterien
Verlangen Sie Katalogblatt K 2

PHILIPS-
ELECTRO-SPECIAL GMBH
BERLIN W 62 KURFÜRSTENSTRASSE 126

MESSGERÄTE - KATHODENSTRAHLROHREN - SPEZIALROHREN

Im Druck:

Die Grundlagen der Modulation

Von Postrat Dr.-Ing. E. Prokott, Berlin

Modulation und Demodulation bilden Kernprobleme der elektrischen Nachrichtentechnik und sind im weiteren Sinne die Grundlage jeder Nachrichtenübermittlung. Erst die Modulationsordnung machte die Hochfrequenzanlage zum Nachrichtensender, ebenso wie die Demodulationseinrichtung sie zum Empfänger stempelt. Das Buch wird für die Vertiefung der Kenntnis der Modulationsvorgänge große Dienste leisten.

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

Schwierige elektroakustische Aufgaben, wie sie heute beim Rundfunk, beim Tonfilm, bei Lautsprecher-Großübertragungen aller Art oder andererseits auch bei der technischen Lärmbekämpfung gestellt werden, erfordern eine genaue Erforschung der elektroakustischen und raumakustischen Vorgänge • Diese Forschung muß sich auf zuverlässige Meßgeräte stützen • Wir haben von Anfang an eine führende Stellung in der Entwicklung von Sondermeßgeräten für die Elektroakustik eingenommen • Schalldruckmesser, Lautstärkemesser, Frequenzanalysiereinrichtungen für Fein- und Grobanalysen, auch solche für schnell veränderliche Vorgänge, Meßplätze für Nachhallmessungen und für Untersuchungen an elektroakustischen Geräten sind das Ergebnis dieser Entwicklung

Meßplatz für elektroakustische Geräte
(Mikrofon-, Telefon- und Lautsprechermessungen)

Rel 7.01/2

SIEMENS & HALSKE AG · WERNERWERK · BERLIN-SIEMENSSTADT

ANTENNEN

IHRE THEORIE UND TECHNIK

Von Dr.-Ing. **HELLMUT BRÜCKMANN**

Mitarbeiter im Reichspostzentralamt, Berlin

XIV, 339 Seiten mit 169 Abb. und 2 Tafeln. 1939. Geh. 20,50 RM., Leinen 22,– RM.

Telegraphen-Praxis, Nr. 9 vom 13. Mai 1939: Der Verfasser versteht es, das Ganze aus der Tiefe mit einem verhältnismäßig geringen wissenschaftlichen Rüstzeug klarzumachen, was hohe Anerkennung verdient. Wir finden die Ansätze der Rechnung und die Erläuterung des physikalischen Sinnes jeweils auf dem einfachsten und übersichtlichsten Wege, wobei die Ergebnisse der Rechnung anschaulich gedeutet werden. An vielen Beispielen zeigt der Verfasser die praktische Anwendung der Erkenntnisse.

Der zweite Teil des Buches mit den technischen Antennenformen wird dem mathematisch weniger geschulten Leser am leichtesten eingehen. Durch eine einheitliche Behandlung der Teilaufgaben war der Verfasser bemüht, die Verständlichkeit und Übersichtlichkeit zu heben. Eine große Zahl von graphischen Darstellungen und Abbildungen erläutert die textlichen Ausführungen sehr anschaulich.

Wir haben es hier mit einem außerordentlich wertvollen Werke zu tun, das nicht allein in den Kreisen der Wissenschaft, sondern auch bei den Funkfreunden starke Beachtung finden wird.

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG C 1

AKUSTISCHE ZEITSCHRIFT

Viertes Heft | Siebenter Jahrgang | Juli 1942

Messungen zu den Theorien der Eigenschwingungen von Kreisringen beliebiger Wandstärke*)

Von Walter Kuhl

Mitteilung aus dem Institut für Schwingungsforschung der Technischen Hochschule Berlin

(Mit 20 Textabbildungen)

Formelzeichen und Benennungen

r_a	Außenradius.
r_i	Innenradius.
$h = r_a - r_i$	Wandstärke der Rohre und Ringe.
l	axiale Abmessung der Rohre, Ringe, Vollzylinder und Kreisscheiben.
$c = \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$	Schallgeschwindigkeit.
E	Elastizitätsmodul.
ϱ	Dichte.
σ	Poissonsche Konstante.
n	Ordnungszahl der Schwingungen und Anzahl der Knotendurchmesser.
f_d	Eigenfrequenz der radialen Dehnungsschwingung.
f_u	Eigenfrequenzen der Umfangsschwingungen.
f_{dr}	Eigenfrequenzen der Drillungsschwingungen.
$f_b (f_{bI})$	Eigenfrequenzen der Biegeschwingungen in der Ringebene.
f_{bII}	Eigenfrequenzen der Eigenschwingungen senkrecht zur Ringebene.

Ring (bzw. Kreisscheibe mit Bohrung): Zylinder mit beliebiger Wandstärke h $(0 < h/r_a \leq 1)$ und geringer Länge l (axialer Abmessung) $(0 < l/r_a \leq h/r_a)$.

Rohr: Ring mit großer Länge $(l/h > 1)$ und beliebiger Wandstärke $(0 < h/r_a < 1)$.

Kreisscheibe: Grenzfall des Ringes für fehlende Bohrung $(h/r_a = 1;\ 0 < l/r_a \leq 1)$. Die Benennung soll für Schwingungen in und senkrecht zur Scheibenebene gelten.

Vollzylinder: Grenzfall des Rohres für fehlende Bohrung $(h/r_a = 1;\ l/r_a > 1)$.

Ringquerschnitt: Zylinderschnitt, der die Achse enthält, mit den Abmessungen h und l.

dünnwandig: $h/r_a \to 0$.

dickwandig: $h/r_a \to 1$.

dünne Kreisscheibe: $l \to 0$.

A. Einleitung

Bei Untersuchungen mit Flüssigkeitsschall werden Kundtsche Rohre ebenso wie bei Luftschall dazu verwendet, um Schallgeschwindigkeiten und Mediumdämpfungen zu messen und Abschlußwiderstände nach Betrag und Phase zu bestimmen. Bei Luftschall sind die Kundtschen Rohre aus Metall oder anderen festen Stoffen wegen des großen Unterschiedes der akustischen Widerstände von Luft und festen Körpern als vollkommen starr anzusehen. Der Unterschied der akustischen Widerstände von Flüssigkeiten und festen Körpern ist dagegen so klein, daß die Kundtschen Rohre durch den Schalldruck in der Flüssigkeit zum Schwingen angeregt werden und die Schallausbreitung in der Flüssigkeit stören können.

Infolge der Nachgiebigkeit der Rohrwandungen wird die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit verkleinert[1][2]). Durch die Materialdämpfung der Rohrwand wird die Ausbreitung des Schalles im Rohr etwas gedämpft[3]). Bei Luftschall tritt bei den Frequenzen, bei denen Querschwingungen im Innern des Rohres möglich sind, eine Beeinflussung der Schallgeschwindigkeit und eine Dämpfung in der Längsrichtung ein[4]). Bei Flüssigkeitsschall sind die

*) D 38. Dissertation Technische Hochschule Berlin. Eingereicht am 27. Juni 1941.

[1]) D. J. Korteweg, Ann. Phys. 5 (1878), S. 525.

[2]) T. H. Gronwall, Phys. Rev. (2) 30 (1927), S. 71.

[3]) E. Ganitta, Akust. Z. 5 (1940), S. 87.

[4]) W. Bürk und H. Lichte, Akust. Z. 3 (1938), S. 259.

Verhältnisse komplizierter, da sich die Querschwingungen in der Flüssigkeitssäule und die radialen Schwingungen der Rohrwand, vor allem deren radiale Eigenschwingung, infolge der Kopplung gegenseitig beeinflussen[5][6]). Bei dünnwandigen KUNDTschen Rohren tritt ein breites Dispersionsgebiet für die Schallgeschwindigkeit auf.

GANITTA[2]) führt Maxima, die in der Dämpfung der Schallausbreitung im Innern dünnwandiger wassergefüllter Röhren auftreten, zum Teil auf Resonanzen der Rohrwand zurück. Bei Untersuchungen an Rohren mit sehr großer Wandstärke, die so starr sind, daß die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit annähernd 100% derjenigen im freien Medium beträgt, wurde festgestellt, daß sogar bei diesen Rohren die Eigenschwingungen der Rohrwand angeregt werden und, wenn auch in sehr geringem Maß, auf die Schallausbreitung im Innern des Rohres einwirken.

Um die Schallfortpflanzung in der Rohrwand ganz zu verhindern, kann man ein KUNDTsches Rohr als mechanische Drosselkette ausbilden[7]), indem man ringförmige Rohrstücke mit der vollen Wandstärke, die als Masse wirken, mit eingedrehten Stücken sehr kleiner Wandstärke, die als Federung wirken, abwechseln läßt. Bei der Untersuchung der Schallausbreitung in der Rohrwand eines solchen Rohres wurde festgestellt, daß der Frequenzbereich, in dem die Drosselkette sperrt, durch die Anregung von Eigenschwingungen der einzelnen Ringe eingeschränkt ist. Jede für die Einzelringe mögliche Eigenschwingungsart und -ordnung wurde auch bei rein axialer Anregung an einem Rohrende erregt. Da es sich bei einem solchen Rohr um sehr viele gekoppelte schwingungsfähige Gebilde mit gleicher Eigenfrequenz handelt, ist jede Eigenfrequenz der Einzelringe in viele Koppelfrequenzen mit geringem Frequenzabstand aufgespalten, deren Anzahl gleich der Zahl der Ringe ist. Um Unterlagen für eine geeignete Bemessung solcher Rohre, die als Drosselkette ausgebildet sind, mit großem Sperrbereich zu erhalten, und im Zusammenhang mit den oben erwähnten Untersuchungen sehr dickwandiger Rohre wurden die Frequenzen zweier Ordnungen der Biegeschwingungen dickwandiger Kreisringe gemessen.

Die im folgenden mitgeteilten Messungen wurden aber mit dem wesentlich darüber hinausgehenden Ziel angestellt, die Frequenzen aller bekannten Eigenschwingungen von Kreisringen beliebiger Wandstärke jeweils für mehrere Ordnungen zu bestimmen. In den meisten Fällen wurden die Messungen bis zum Grenzfall eines dickwandigen Ringes, nämlich zur Kreisscheibe ohne Bohrung durchgeführt. Für zwei Spezialfälle lassen sich die Messungen im ganzen Verlauf mit kürzlich erschienenen exakten Theorien vergleichen. Alle anderen Eigenschwingungen können nur für den Grenzfall des Ringes mit sehr geringer Wandstärke bzw. sehr kleinem Querschnitt berechnet werden. Die Drillungsschwingungen sind für den quadratischen Ringquerschnitt theoretisch noch gar nicht behandelt worden.

Was die Messungen von Ringschwingungen betrifft, so waren bisher erst Messungen einiger Eigenschwingungen dünnwandiger Ringe bekannt. An einem Ring mit großer Wandstärke bzw. einer Kreisscheibe wurde bisher nur die radiale Dehnungsschwingung gemessen. Von diesen Ausnahmen abgesehen, sind die Messungen der 25 verschiedenen, hier behandelten Eigenschwingungen, die sich mit verschiedener Anzahl von Ordnungen auf fünf Schwingungsarten verteilen, bisher wohl noch nicht ausgeführt worden.

B. Meßmethode

Die Meßmethode mußte folgende Anforderungen erfüllen. Alle Ringschwingungen sollten möglichst mit dem gleichen Anregungssystem angeregt werden können. Da über 150 Stahlringe verschiedener Form und Größe untersucht wurden, mußte die Aufhängung der Ringe einfach und eine leichte Auswechselung möglich sein. Von der Anzeige der Eigenschwingungen wurde ver-

[5]) G. S. FIELD, Nature 128 (1931), S. 117; Canad. J. Res. 5 (1931), S. 131; 11 (1934), S. 254; 17 (1939), S. 197.

[6]) G. S. FIELD and R. W. BOYLE, Canad. J. Res. 6 (1932), S. 192.

[7]) K. TAMM, Akust. Z. 6 (1941), S. 33.

langt, daß sie eine eindeutige Bestimmung der Schwingungsart und -ordnung und eine genaue Frequenzmessung ermöglichte. Da von allen Schwingungsarten mehrere Ordnungen gemessen wurden, aber die Abmessungen der Ringe nicht zu groß werden sollten, reichte der notwendige Frequenzbereich für die gesamte Meßanordnung etwa von 1—100 kHz.

Die bisher vielfach angewandte piezoelektrische Methode zur Schwingungsanregung von Ringen[8][9], Zylindern [10][11] und Kreisscheiben (u. a.[12][13]) ist praktisch auf Körper aus den anisotropen Stoffen Quarz und Turmalin beschränkt. Sie benötigt außerdem komplizierte Elektrodenanordnungen. Magnetostriktiv lassen sich nur Längsschwingungen von Zylindern[14][15] und Schwingungen von Kreisscheiben senkrecht zu ihrer Ebene[16] anregen.

Bei sehr vielen früheren Untersuchungen geschah die Sichtbarmachung der Schwingungen mit Hilfe von Staubfiguren, die nur die Zahl und Lage der Schwingungsknoten anzeigen und damit oft keine einwandfreie Bestimmung der Schwingungsart zulassen.

Bei den Messungen, über die hier berichtet wird, wurde die magnetische Methode zur Schwingungsanregung angewandt. Sie wurde von Giebe und Blechschmidt[17] benutzt, um Stäbe zu Biegeschwingungen anzuregen, und von van Urk und Hut[18] zur Erregung von Kegelschalen zu Biegeschwingungen.

Die Abtastung der Ringe geschah mit Hilfe eines piezoelektrischen Tonabnehmers[19]. In Verbindung mit einem Resonanzverstärker ermöglichte sie bis zu Frequenzen von etwa 100 kHz die Bestimmung der Knotenpunkte bzw. -linien, der Schwingungsrichtung und -phase sowie der relativen Schwingungsamplitude.

Die Stahlringe wurden nach Abb. 1 auf zwei Fäden aus gewachster Angelschnur mit 0,5 bis 2 mm Luftspalt über einem Pol des Magnet-

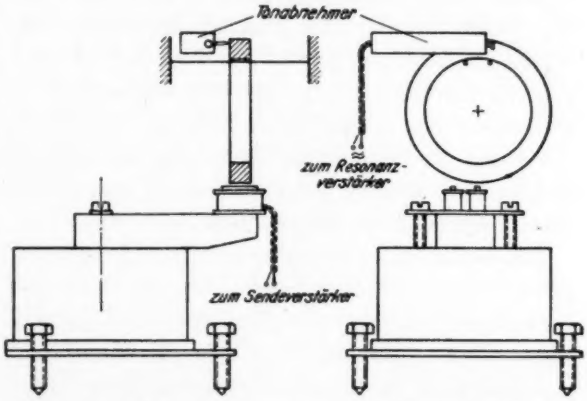


Abb. 1. Meßanordnung zur magnetischen Anregung von Kreisringschwingungen und Abtastung mit Hilfe eines piezoelektrischen Tonabnehmers

systems eines Feldfernhörers aufgehängt, der an einem Bleizylinder befestigt war. Die Fadenspannung war nur so groß, daß der Luftspalt aufrechterhalten blieb. Ihr Einfluß und der des Magnetfeldes auf die Eigenfrequenzen der Ringe wird später erörtert.

Drillungsschwingungen, bei denen sich die Ringquerschnitte um ihren Mittelpunkt drehen, wurden angeregt, indem sich ein Magnetpol in der Ebene einer Ringstirnfläche befand. Zur Erregung von Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene wurden die Ringe waagerecht auf die in etwas größerem Abstand gespannten Fäden gelegt, wobei der Magnet senkrecht zu einer Ringstirnfläche angriff. Die magnetische Anregung zu Drillungsschwingungen ist

[8]) E. Giebe und A. Scheibe, Z. Instrumentenkde. 47 (1927), S. 278; ENT 5 (1928), S. 65.

[9]) E. Giebe und E. Blechschmidt, Ann. Phys. (5) 18 (1933), S. 444.

[10]) Ny Tsi-Ze, Tsien Lung-Chao und Fang Sun-Chung, Proc. Inst. Radio Engrs. 24 (1936), S. 1484.

[11]) Ny Tsi-Ze und Chung Ming-San, J. Phys. Radium 9 (1938), S. 52.

[12]) V. Petržílka, Ann. Phys. (5) 15 (1932), S. 72.

[13]) A. Žáček und V. Petržílka, Phil. Mag. 25 (1938), S. 164.

[14]) E. Giebe und E. Blechschmidt, Ann. Phys. (5) 11 (1931), S. 505.

[15]) E. Giebe und E. Blechschmidt, Ann. Phys. (5) 18 (1933), S. 417.

[16]) B. Pavlík, Ann. Phys. (5) 26 (1936), S. 625.

[17]) S. Anm. 14.

[18]) A. Th. van Urk und G. B. Hut, Ann. Phys. (5) 17 (1933), S. 915.

[19]) Die Abtastung von Körperschwingungen mit Hilfe eines Tonabnehmers wurde bereits von R. Schmidt (Ing.-Arch. 5 [1934], S. 352) bei Untersuchungen von Eigenschwingungen langer Balken angewandt.

bei kleinen Ringquerschnitten nicht sehr wirksam, ergab aber immer noch gut meßbare Amplituden. Das gleiche gilt von den später beschriebenen Umfangsschwingungen, bei denen die Bewegungen vorwiegend tangential sind, und die bei einer Aufhängung senkrecht über dem Magnet auf dem Umweg über die Anregung der kleinen radialen Schwingungskomponente, die infolge der Querkontraktion auch vorhanden ist, angeregt wurden.

Körper aus nicht ferromagnetischem Material werden magnetisch angeregt, indem man auf die Stelle, an der der Magnet angreifen soll, ein Eisenplättchen kittet[18]), dessen Einfluß auf die Eigenfrequenzen bei großen Körperabmessungen vernachlässigt oder aber in der Weise bestimmt werden kann, daß man die Eigenfrequenzen zweimal bei Verwendung von Plättchen verschiedener Masse mißt.

Als elektrische Sender dienten im Frequenzbereich bis 20 kHz ein Schwebungssummer mit Leistungsverstärker mit einer größten Leistung von 1 Watt, der allerdings nur für einen Frequenzbereich bis 20 kHz vorgesehen ist, und im Frequenzbereich von 8—100 kHz ein Rückkopplungssummer zusammen mit dem gleichen Verstärker.

Zur Frequenzmessung wurde ein AEG-Frequenzzeiger mit einem höchsten Meßbereich bis 100 kHz verwendet. Die Ablesegenauigkeit beträgt je nach der Größe des Ausschlags $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ bis $\pm 2 \cdot 10^{-3}$. Die Gleichstromeichung auf den Skalenendwert wurde vor jeder Messung vorgenommen. Vor jeder Meßreihe wurde der Frequenzzeiger in den beiden oberen Meßbereichen, deren Eichung sich zeitlich etwas ändert, auch wenn die Einstellung auf den Skalenendwert stimmt, mit einer Reihe von Frequenzen geeicht. Diese waren Bruchteile oder Vielfache der Normalfrequenz von 10 kHz der Phys. techn. Reichsanstalt, die über die Fernsprechleitung zur Verfügung stand. Die Eichfrequenzen, die auf ein Plattenpaar eines Kathodenstrahloszillographen gegeben wurden, konnten mit beliebiger Genauigkeit so eingestellt werden, daß sie mit der nach Verstärkung auf das andere Plattenpaar gegebenen PTR-Frequenz stehende Lissajous-Figuren ergaben. Die angegebenen Toleranzen stellen demnach auch die absolute Genauigkeit für die Frequenzmessung dar.

Die Schwingungen der Ringe wurden mit einem piezoelektrischen Tonabnehmer mit Stahlnadel, der einen Biegeschwinger aus Seignettesalz enthält, abgetastet. Er wird im Gegensatz zu magnetischen oder dynamischen Tonabnehmern nicht von dem Streufeld des anregenden Magneten beeinflußt und ist wesentlich leichter und handlicher als diese. Die Abmessungen des Tonabnehmers sind $60 \cdot 22 \cdot 15$ mm. Sein Gewicht einschließlich einer Hülle aus Kupferblech zur elektrischen Abschirmung beträgt 35 g. Die Resonanzen des Systems störten bei der Feststellung der sehr resonanzscharfen Eigenschwingungen der Ringe nicht.

Die Tonabnehmerspannung wurde nach Verstärkung auf einen Kathodenstrahloszillographen gegeben, weil man beim Durchdrehen der Frequenz die Eigenschwingungen so besser findet als bei der Anzeige mit einem trägen Instrument. Außerdem kann man, wenn die gesuchte Schwingung sehr schwach angeregt ist, und der Tonabnehmer an einen Punkt sehr kleiner Amplitude angelegt wurde, die Sinusspannung des Tonabnehmers besser aus dem Röhrenrauschen herausfinden. Zwischen den Tonabnehmer und den Verstärker, der im Oszillographen eingebaut ist, wurde ein zweistufiger Verstärker geschaltet, dessen eine Stufe auf frequenzunabhängige Verstärkung bis 130 kHz bzw. auf Resonanzverstärkung zwischen 8 und 120 kHz mit nach hohen Frequenzen zunehmendem Verstärkungsgrad umgeschaltet werden konnte. Dies diente dazu, um den Abfall der Gesamtempfindlichkeit der Meßanordnung nach hohen Frequenzen hin auszugleichen und um Störspannungen auszuscheiden, wie sie entstehen, wenn man zur Bestimmung der Knotenzahl und -lage mit der Nadel an dem Ringumfang entlangfährt. Vor allem im Frequenzbereich bis 40 kHz wurde beim direkten Anlegen des Tonabnehmers an den Ring nur ein Bruchteil der möglichen Senderleistung und Empfängerverstärkung benötigt. Zur genauen Frequenzmessung wurde aber, wie später begründet wird, der Tonabnehmer in diesem Fre-

quenzbereich bei Ringen geringer Steifigkeit an die Halterungsfäden gelegt. Dabei ist natürlich die Empfindlichkeit der Abtastung wesentlich geringer.

Oberhalb von etwa 20 kHz schwingen die Nadel und die Kristallplatten des Tonabnehmers einfach oder mehrfach unterteilt. Wenn man die Nadel mit ihrer Spitze auf den Ring aufsetzt, wechseln daher Frequenzgebiete großer Empfindlichkeit mit solchen kleiner Empfindlichkeit ab. Will man aber eine schwach angeregte Schwingung genauer untersuchen, so kann man durch verschieden tiefes Einklemmen der Nadel schnell die günstigste Nadellänge für große Empfindlichkeit bestimmen. Je nach Stärke der Schwingung bekommt man oberhalb von 80 oder 90 kHz nur dann eine genügende Anzeige, wenn man die Nadel mit dem dicken Teil des Schaftes an eine Kante des Ringes anlegt. Dann ist noch eine Knotenbestimmung längs des Ringumfanges, aber kaum mehr eine Bestimmung der Schwingungsrichtung möglich. Die höchsten Schwingungszahlen, die gemessen werden konnten, lagen bei 100 kHz.

Der Tonabnehmer wurde von Hand so an den Ring gehalten, daß die Nadel und die Längsachse des Tonabnehmers senkrecht auf der jeweiligen Schwingungsrichtung standen. Die Schwingungsrichtung konnte so genau festgestellt werden. Ein unterteiltes Schwingen der Nadel hatte hierauf keinen Einfluß. Die Lage der Knotenpunkte oder -linien konnte auf wenige Zehntel Millimeter genau bestimmt werden. Wenn bei der Zuordnung einer Schwingung zu einer bestimmten Art noch ein Zweifel bestand, war es möglich, auch die Schwingungsphase an allen Punkten der Ringoberfläche zu messen. Zu dem Zweck wurde hinter dem Resonanzverstärker ein kleiner Teil der Senderspannung mit der verstärkten Tonabnehmerspannung überlagert. Der Tonabnehmer wurde auf eine Stelle größter Amplitude des Ringes aufgesetzt und die Verstärkung nach Betrag und Phase so eingestellt, daß die beiden Spannungen sich kompensierten. Durch Verstellen des Resonanzkreises war eine Phasendrehung um $\pm 90^0$, durch Umdrehen des Tonabnehmers eine um 180^0 möglich. Wenn diese Einstellung vorgenommen war, konnte für alle Punkte die Phase der Schwingung relativ zu der am Bezugspunkt festgestellt werden.

Die größten Fehlermöglichkeiten bei der Messung der Eigenfrequenzen waren die Erhöhung der Eigenfrequenzen der Ringe durch die Auflage des Tonabnehmers und durch die Halterung. In dem Frequenzbereich bis etwa 40 kHz und bei stark angeregten Schwingungen auch darüber wurde der Tonabnehmer nur zur Bestimmung der Schwingungsform auf den Ring aufgesetzt, zur genauen Messung der Eigenfrequenzen aber an die Halterungsfäden angelegt. Jedoch auch bei wesentlich tieferen Frequenzen wurde mehrfach durch den Vergleich von Messungen bei verschiedener Abtastung festgestellt, daß sogar bei tiefen Schwingungsordnungen für die dünnsten gemessenen Ringe (außer Rohr Nr. 7), also in den ungünstigsten Fällen, die Erhöhung der Eigenfrequenzen durch die Auflage des Tonabnehmers 2 Promille nicht überschritt.

Bei einem 6 mm langen Stück eines Rohres von 72 mm Außendurchmesser und 1 mm Wandstärke wurde der Einfluß der Länge und der Spannung der beiden Fäden, auf deren Mitte der Ring hing, auf die Eigenfrequenzen ermittelt. Der Tonabnehmer wurde an das Ende eines Fadens dicht neben der Befestigung angelegt. Die Frequenzen von Biegeschwingungen des Ringes in seiner Ebene wurden einmal bei 10 cm langen, ungespannten Fäden, ein zweites Mal bei 3 cm langen, gespannten Fäden gemessen[20]). Die Erhöhung der Eigenfrequenz durch Auflage auf die kurzen, stark gespannten Fäden betrug bei der tiefsten Schwingungsordnung 3%, bei der nächst höheren nur noch $3^0/_{00}$ gegenüber dem ersten Fall. Bei den Ringen, an denen die verschiedenen Eigenschwingungen gemessen wurden, war das Verhältnis Wandstärke zu Außenradius mindestens dreimal größer als in diesem Falle, und damit das Trägheitsmoment des Querschnittes, bezogen auf gleichen Radius, 27mal größer. Der Ein-

[20]) Es wurde darauf geachtet, daß wenigstens bei der tiefsten Schwingungsordnung die Aufhängepunkte annähernd mit Knotenpunkten des Ringes übereinstimmten.

fluß der Aufhängung ist dementsprechend geringer. Die Ringe mit kleiner Wandstärke wurden jedoch in jedem Fall durch Fäden großer Länge und geringer Spannung gehalten.

Wie in einigen Versuchen durch starkes Ändern des Luftspaltes festgestellt wurde, trat durch den Einfluß des konstanten Magnetfeldes keine meßbare Änderung des Elastizitätsmoduls der Stahlringe und damit der Eigenfrequenzen[14]) ein, da das Magnetfeld nur schwach war, und sich auch nur ein kleiner Teil des Ringumfanges in ihm befand.

Der Einfluß der Temperatur auf die Eigenfrequenzen wurde in einem Versuch im Bereich von + 20 bis + 100° C ermittelt. Die Änderung der Eigenfrequenzen ist im Mittel $1 \cdot 10^{-4}$ pro Grad, also vollkommen zu vernachlässigen, da immer bei Zimmertemperatur gemessen wurde. Die Genauigkeit der Längenmessung war $\pm 5 \cdot 10^{-4}$. Die gesamte Meßgenauigkeit war also durch die Genauigkeit gegeben, mit der die Anzeige des Frequenzmessers abgelesen werden konnte, und betrug daher, wie angegeben, $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ bis $\pm 2 \cdot 10^{-3}$.

C. Übersicht über den Gang der Messungen und über die gemessenen Körper

In Tab. 1 sind die Angaben über die Grundmaße der gemessenen Körper zusammengestellt.

Das Material der Ringe war Stahl verschiedener Legierung und Bearbeitung. Die Körper Nr. 1, 3, 4, 5 und 6 wurden so aus gewalzten Platten hergestellt, daß die Walzrichtung in der Ringebene lag. Alle übrigen Körper waren aus gezogenem oder in axialer Richtung gewalztem Material. Die Beobachtungen von Giebe und Blechschmidt[14]), daß bei gezogenen Nickelrohren durch die Bearbeitung keine meßbare Anisotropie bewirkt wird, wurden durch Messungen von Schwingungen in verschiedener Richtung an Körpern aus verschieden bearbeitetem Ausgangsmaterial bestätigt.

Die Schallgeschwindigkeit der in der Hauptsache aus kleinen Einzelstücken verschiedenen Materials hergestellten Körper konnte nicht durch die Bestimmung der Dichte und durch statische Messung des Elastizitätsmoduls ermittelt werden. Für die Körper Nr. 1 bis 6, an denen die absoluten Frequenzmessungen vorgenommen wurden, wurde die Schallgeschwindigkeit durch die an Hand der exakten Theorie durchgeführte Auswertung aller bei dem betreffenden Körper gemessenen Frequenzen der radialen Dehnungsschwingung gefunden.

Bei den Ringen Nr. 1 bis 3 wurden bei konstantem Innenradius und schrittweiser Verringerung der Wandstärke jeweils die Frequenzen einiger Schwingungsarten gemessen. Die Drillungsschwingungen und Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene, die außer vom Radius und der Wandstärke auch von der axialen Abmessung abhängen, wurden für den Spezialfall des quadratischen Ringquerschnittes ($l = h$) an den Ringen 2, 3 und 6 gemessen. Bei den späteren Untersuchungen wurden die Eigenschwingungen in der Ringebene vom dünnen Ring bis zur vollen Kreisscheibe, die Drillungsschwingungen und Biegeschwingungen senkrecht zu der Ringebene bis annähernd zu dem letzten Grenzfall untersucht. Dementsprechend wurde der Außenradius konstant gehalten und der Innenradius mit Null beginnend schrittweise vergrößert. Als Kennzeichen für die Ringform, wurde das Verhältnis Wandstärke zu Außenradius $\left(\frac{h}{r_a}\right)$ gewählt, das für den unendlich dünnen Ring Null und für die Kreisscheibe bzw. den Vollzylinder Eins ist.

An den Rohren Nr. 7—14 mit wachsendem Wert von $\frac{h}{r_a}$ und dem Vollzylinder Nr. 15 wurde die Längenabhängigkeit der Eigenfrequenzen verschiedener Ordnungen der Biegeschwingungen in der Ringebene bestimmt. Die Länge der Rohre wurde von der maximalen ausgehend schrittweise verringert. Die Eigenfrequenzen eines vorher von den Rohren abgetrennten Ringes mit $l = 3$—5 mm, der gewissermaßen als Frequenznormal diente, wurden jeweils zusammen mit denen des Rohres gemessen. Durch diese Vergleichsmessung erübrigte sich eine Eichung des Frequenzzeigers.

Tabelle 1

Bezeichnung	r_a	r_i	h	l	c
	mm	mm	mm	mm	$\frac{\text{m}}{\text{sec}}$
Ring Nr. 1		20,00	$\frac{h}{r_a} = 0{,}167 \div 0.573$	24	5160
Ring Nr. 2		20,10	$\frac{h}{r_a} = 0{,}165 \div 0{,}662$	$\frac{l}{r_a} = \frac{h}{r_a}$	5160
Ring Nr. 3		15,00	$\frac{h}{r_a} = 0{,}23 \div 0{,}667$	$\frac{l}{r_a} = \frac{h}{r_a}$	5160
Kreisscheibe Nr. 4	45,00		$\frac{h}{r_a} = 0{,}11 \div 1{,}0$	4,0	5145
Kreisscheibe Nr. 5	57,50		$\frac{h}{r_a} = 0{,}087 \div 1{,}0$	3,0	5180
Ring Nr. 6	45,00		$\frac{h}{r_a} = 0{,}086 \div 0{,}722$	$\frac{l}{r_a} = \frac{h}{r_a}$	5170
Rohr Nr. 7	36,00		1,0	$1 \div 500$	
Rohr Nr. 8	24,95		2,55	540	
Rohr Nr. 9	50,0		9,75	$2 \div 92$	
Rohr Nr. 10	19,0		3,94	$1 \div 2000$	
Rohr Nr. 11	30,0		8,05	$4{,}5 \div 800$	
Rohr Nr. 12	40,0		15,0	$3{,}0 \div 400$	
Rohr Nr. 13	40,0		25,75	$3{,}5 \div 400$	
Rohr Nr. 14	35,0		27,50	$5 \div 160$	
Vollzylinder Nr. 15	35,0		35,0	$2 \div 240$	

Außerdem konnten auf diese Weise noch Frequenzunterschiede unter $2‰$ durch Verstellen eines geeichten, kleinen Zusatzkondensators zum Summer mit einiger Genauigkeit bestimmt werden.

In wenigen Fällen wurde eine Aufspaltung der Eigenfrequenzen von Biegeschwingungen in der Ringebene festgestellt, die wohl durch kleine Ungleichmäßigkeiten im Material verursacht war. Der Frequenzunterschied der beiden Eigenschwingungen war meistens kleiner als die Meßgenauigkeit. Nur in zwei Fällen betrug er 3 bzw. $5‰$. Es ist jeweils die Schwingung stärker, für die ein Punkt großer Amplitude in der Nähe der Anregungsstelle liegt. Jede Schwingung hat ihre zugehörigen Knotenpunkte, die sich beim Drehen des Ringes um die Achse mitdrehen, also von dem Ort der Anregung unabhängig sind. Der Winkel, den die Knotendurchmesser der beiden Schwingungen miteinander bilden, ist nicht konstant, sondern nur durch Ungleichmäßigkeiten des Materials bedingt.

D. Theorien der Kreisringschwingungen und Meßergebnisse

Es werden hier die fünf bekannten Arten von Eigenschwingungen von Kreisringen behandelt. 1. Die radiale Dehnungsschwingung, 2. die Umfangsschwingungen (früher Längsschwingungen genannt), 3. die Drillungsschwingungen, 4. die Biegeschwingungen in der Ringebene und 5. die Biegeschwingungen senkrecht zu der Ringebene.

Da ein Ring großer Wandstärke eine Kreisscheibe mit Bohrung darstellt und im Grenzfall in eine volle Kreisscheibe übergeht, sind bei ihm außer den genannten fünf Schwingungsarten auch noch alle Eigenschwingungen von Kreisscheiben möglich. Da die Eigenfrequenzen dieser Schwingungen aber mit größer werdender Bohrung anwachsen und schließlich gegen Unendlich gehen, sind diese Eigenschwingungen bei einem Kreisring, dessen Wandstärke gegen Null geht, im Gegensatz zu den oben angeführten fünf Arten nicht möglich und werden daher hier auch nicht betrachtet.

Ähnliches gilt von den zahlreichen Eigenschwingungen von Rohren und Vollzylindern. Mit abnehmender Länge, also beim Übergang zu einem Ring werden die Eigenfrequenzen dieser Schwingungen immer höher und schließlich Unendlich. Die Frequenzen der oben erwähnten Ringschwingungen bleiben jedoch beim Übergang zur Ringlänge Null konstant (1, 2, 4) oder werden Null (3, 5).

Für jede einzelne Schwingungsart werden im folgenden die Schwingungsform und die bestehenden Theorien besprochen. Dann werden die Messungen angegeben und mit den Theorien im Bereich ihrer Gültigkeit verglichen.

1. Die radiale Dehnungsschwingung

Die radiale Dehnungsschwingung ist ihrer Schwingungsform nach die einfachste der Ringschwingungen. Sie ist schematisch in Abb. 2a dargestellt. Alle Punkte des Ringumfanges schwingen gleichphasig in radialer Richtung. Beim dünnwandigen Ring sind die Verschiebungen überall gleich groß. Bei der Kreisscheibe sind die Verschiebungen an der Achse Null und nehmen zum Umfang hin zu. Bei der Kreisscheibe mit und ohne Bohrung sind außer dieser radialen Grundschwingung auch Oberschwingungen möglich mit beliebig vielen Knotenkreisen. Ihre Eigenfrequenzen werden, wenn die Wandstärke des Ringes gegen Null geht, Unendlich. Sie gehören zu den Kreisscheibenschwingungen und werden hier nicht betrachtet. Bei der radialen Dehnungsschwingung sind keine tangentialen Verschiebungen vorhanden.

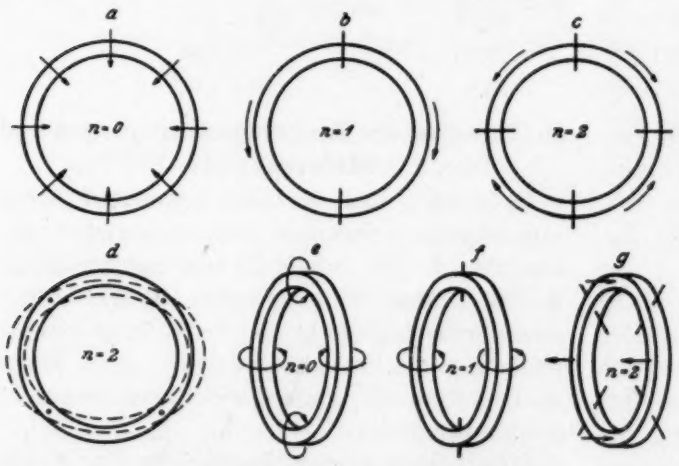


Abb. 2. Schema der Kreisringschwingungen.
a) Radiale Dehnungsschwingung; b) c) die tiefsten Ordnungen der Umfangsschwingungen; d) die tiefste Ordnung der Biegeschwingungen in der Ringebene; e) f) die tiefsten Ordnungen der Drillungsschwingungen; g) die tiefste Ordnung der Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene

Auch die axialen Verschiebungen sind Null, wenn die Ringlänge Null oder Unendlich wird. Bei Zylindern endlicher Länge ist die radiale Dehnungsschwingung infolge der Querkontraktion immer mit Axialverschiebungen verbunden. Es wird später noch darauf eingegangen, wie sich das auf die Schwingungsform und die Eigenfrequenz der radialen Dehnungsschwingung auswirkt. Die Länge $l = \infty$ wäre praktisch dann verwirklicht, wenn die Dämpfung von Längsschwingungen eines Zylinders so groß geworden wäre, daß sich keine stehenden Wellen mehr ausbilden könnten. Bei dem sehr kleinen Verlustfaktor der meisten festen Körper läßt sich das im Versuch nicht erreichen, da die erforderlichen Längen mehrere Hundert oder Tausend Meter betragen würden. Die Versuche muß man also mit Ringen bzw. Kreisscheiben ausführen, deren axiale Abmessungen sehr klein gegen den Außenradius sind, um den Grenzfall $l = 0$ anzunähern.

Für die Dehnungsschwingungen eines Zylinders sind mehrere Frequenzgleichungen aufgestellt worden, die jeweils für einen bestimmten Grenzfall Gültigkeit haben. Die Reihenfolge, in der die Grenzfälle im folgenden angeführt werden, ist diese: a) Dünner Kreisring $\left(\frac{h}{r_a} \to 0, l \to 0\right)$, b) dünnwandiges unendlich langes Rohr $\left(\frac{h}{r_a} \to 0, l \to \infty\right)$, c) dünne Kreisscheibe $\left(\frac{h}{r_a} = 1, l \to 0\right)$, d) unendlich langer Vollzylinder $\left(\frac{h}{r_a} = 1, l \to \infty\right)$, e) dünne Kreisscheibe mit beliebiger Bohrung $\left(\frac{h}{r_a} = 0 \text{ bis } 1, l \to 0\right)$, f) unendlich langes Rohr mit beliebiger Wandstärke $\left(\frac{h}{r_a} = 0 \text{ bis } 1, l \to \infty\right)$.

a) Für die Dehnungsschwingungen eines in radialer und axialer Richtung dünnen Kreisringes $\left(\frac{h}{r_a} \to 0, l \to 0\right)$ hat LOVE[21]) folgende Gleichung angegeben:

$$f = \frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}\sqrt{1+n^2}. \tag{1}$$

Für $n = 0$ erhält man die radiale Dehnungsschwingung, für $n > 0$ die später behandelten Umfangsschwingungen. Bei endlicher Wandstärke, bei der die Formel nur eine Näherung darstellt, ist für r der mittlere Radius $r_m = \frac{r_a + r_i}{2}$ einzusetzen.

b) Die Frequenz der radialen Dehnungsschwingung eines dünnwandigen Rohres $\left(\frac{h}{r_a} \to 0\right)$ ist für den Grenzfall $l \to \infty$ nach LOVE[22])

$$f_d = \frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{E}{\varrho\,(1-\sigma^2)}}. \tag{2}$$

Die Frequenz ist für gleichen Außenradius bei $l = \infty$ infolge der Behinderung der Querkontraktion um den Faktor $\sqrt{\frac{1}{1-\sigma^2}}$, d. h. bei $\sigma = 0{,}29$ um 4,5 % größer als bei der Länge $l = 0$.

c) Die radialen Dehnungsschwingungen einer dünnen Kreisscheibe $\left(\frac{h}{r_a} = 1, l \to 0\right)$ haben nach LOVE[23]) folgende Frequenzgleichung

$$f_d = \frac{x}{2\pi r_a}\sqrt{\frac{E}{\varrho\,(1-\sigma^2)}}. \tag{3}$$

Der Koeffizient x genügt der Gleichung

$$x J_1'(x) + \sigma J_1(x) = 0. \tag{4}$$

Sie lautet ohne Benutzung von Ableitungen geschrieben

$$x J_0(x) - (1-\sigma) J_1(x) = 0. \tag{4a}$$

Dabei sind J_0 und J_1 BESSELsche Funktionen der ersten Art von den Ordnungen 0 und 1. Die verschiedenen Werte für x, die es nach dieser Gleichung gibt, entsprechen den einzelnen Ordnungen der Schwingung mit $n \geqq 0$ Knotenkreisen.

d) Die Frequenzgleichung für die radialen Dehnungsschwingungen eines Vollzylinders $\left(\frac{h}{r_a} = 1\right)$ mit $l \to \infty$ wurde von AIREY[24]) aufgestellt.

$$f_d = \frac{x}{2\pi r_a}\sqrt{\frac{E\,(1-\sigma)}{\varrho\,(1+\sigma)\,(1-2\sigma)}}. \tag{5}$$

Dabei erfüllt x folgende Gleichung

$$x J_0(x) - \frac{1-2\sigma}{1-\sigma} J_1(x) = 0. \tag{6}$$

Die Frequenz der Grundschwingung ist beim Vollzylinder bei $\sigma = 0{,}29$ um 16% größer als bei der Kreisscheibe mit dem gleichen Radius.

e) Für eine Kreisscheibe mit Bohrung, also einen Ring, werden die Frequenzgleichungen erheblich komplizierter durch das Auftreten BESSELscher Funktionen der zweiten Art (N_0 und N_1). Für dünne Kreisscheiben mit beliebiger Bohrung $\left(\frac{h}{r_a} = 0 \text{ bis } 1, l \to 0\right)$ wurde die Frequenzgleichung an Hand von Grundgleichungen, die von LOVE[25]) angegeben sind, von ŽÁČEK und PETRŽÍLKA[26]) ermittelt.

$$f_d = \frac{x}{2\pi r_a}\sqrt{\frac{E}{\varrho\,(1-\sigma^2)}}. \tag{7}$$

Der Koeffizient x ist durch folgende Gleichung bestimmt:

$$\frac{x N_0(x) - (1-\sigma) N_1(x)}{x J_0(x) - (1-\sigma) J_1(x)} = \frac{\frac{r_i}{r_a} x N_0\left(\frac{r_i}{r_a} x\right) - (1-\sigma) N_1\left(\frac{r_i}{r_a} x\right)}{\frac{r_i}{r_a} x J_0\left(\frac{r_i}{r_a} x\right) - (1-\sigma) J_1\left(\frac{r_i}{r_a} x\right)}. \tag{8}$$

Für den Grenzfall der Kreisscheibe (Fall c) ist $\frac{r_i}{r_a} = 0$. Damit wird der rechte Quotient Unendlich. Da der Zähler der linken Seite nicht Unendlich werden kann, muß der Nenner Null werden. Das führt zu Gl. (4a). Für den dünnwandigen Ring $\left(\frac{r_i}{r_a} \to 1\right)$ (Fall a) werden die beiden Quotienten gleich. Durch Grenzwertbildung erhält man für x den Wert $\sqrt{1-\sigma^2}$. Damit geht Gl. (7) in Gl. (1) für $n = 0$ über. Die Gl. (7) und (8) enthalten also auch die Gleichungen für die Grenzfälle a und c.

[21]) A. E. H. LOVE (Übersetzt von A. TIMPE), Lehrb. d. Elast., Leipzig 1907, S. 521.

[22]) A. E. H. LOVE, a. a. O., S. 624.

[23]) A. E. H. LOVE, a. a. O., S. 655.

[24]) J. R. AIREY, Arch. Math. u. Phys. 20 (1913), S. 290.

[25]) E. H. LOVE, A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, Cambridge 1927.

[26]) S. Anm. 13.

f) Die Frequenzgleichung für das unendlich lange Rohr mit beliebiger Wandstärke $\left(\frac{h}{r_a} = 0 \text{ bis } 1,\ l \to \infty\right)$ stellte FIELD[27]) auf.

$$f_d = \frac{x}{2\pi r_a}\sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\varrho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \tag{9}$$

x ergibt sich aus folgender Gleichung

$$\frac{x N_0(x) - m N_1(x)}{x J_0(x) - m J_1(x)} = \frac{\frac{r_i}{r_a} x N_0\left(\frac{r_i}{r_a}x\right) - m N_1\left(\frac{r_i}{r_a}x\right)}{\frac{r_i}{r_a} x J_0\left(\frac{r_i}{r_a}x\right) - m J_1\left(\frac{r_i}{r_a}x\right)}. \tag{10}$$

Dabei ist $m = \frac{1-2\sigma}{1-\sigma}$. Für $\frac{h}{r_a} \to 0$ (Fall b) geht sie in Gl. (2), für $\frac{h}{r_a} = 1$ (Fall d) in Gl. (5a) über[28]).

Wie oben schon begründet wurde, können im Versuch nur die Gleichungen, die für $l \to 0$ gelten, nachgeprüft werden. Die Werte für die Eigenfrequenzen, die sich aus den Gl. (7) und (8) ergeben, wurden also mit den Meßergebnissen verglichen. Gl. (8) wurde graphisch mit dem Wert $\sigma = 0{,}29$ gelöst, welcher nach der Literatur für Stahl am wahrscheinlichsten ist und auch die beste Übereinstimmung mit den Messungen ergab, wie Kontrollrechnungen mit $\sigma = 0{,}28$ und $\sigma = 0{,}30$ zeigten. Aus 30 Einzelpunkten wurde die Kurve für den linken Quotienten, der nur von x abhängt, gezeichnet. Für die in den Versuchen vorkommenden Werte von $\frac{r_i}{r_a}$ wurden kurze Stücke der Kurven des rechten Quotienten berechnet und mit der ersten Kurve zum Schnitt gebracht. In Abb. 3 sind die so gefundenen Werte für x über $\frac{h}{r_a}$ aufgetragen. Außerdem wurde zum Vergleich der Wert $\frac{r_a}{r_m}\cdot\sqrt{1-\sigma^2}$, der Gl. (7) in Gl. (1) überführt, eingetragen. Man sieht also, daß man eine maximale Abweichung von 11,5% von den Werten nach der exakten Theorie erhält, wenn man die nur für den dünnwandigen Ring gültige Gl. (1) unter Einsetzung von r_m als Radius bis zur vollen Kreisscheibe benutzt.

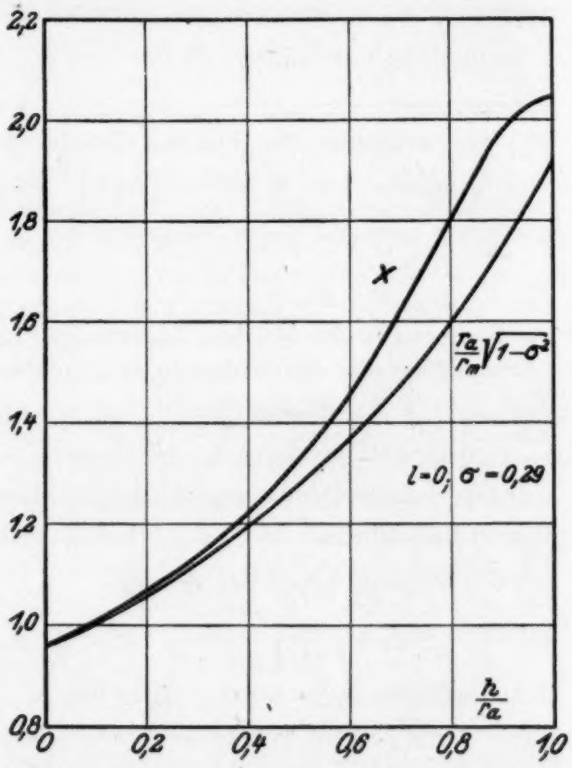


Abb. 3. Koeffizient x der Frequenzgleichung der radialen Dehnungsschwingung einer dünnen Kreisscheibe mit beliebiger Bohrung ($l = 0$) nach der exakten Theorie (Gl. 8) in Abhängigkeit von h/r_a

Da die Ringe und Scheiben, deren Eigenfrequenzen gemessen wurden, immer eine endliche axiale Abmessung hatten, ist eine Betrachtung darüber notwendig, welche Änderung der Eigenfrequenzen durch die Abweichung von der Voraussetzung der Theorie ($l = 0$) eintritt.

[27]) G. S. FIELD, Canad. J. Res. 17 (1939), S. 141.

[28]) FIELD gibt irrtümlich an, daß Gl. (2) von LOVE als Grenzfall der Gl. (9) und (10) für das dünnwandige Rohr bisher nicht bekannt gewesen sei. Die von ihm angestellte physikalische Betrachtung über die verschiedenen Schwingungsformen eines Zylinders, denen Gl. (1) und Gl. (2) entsprechen sollen, als Begründung für den Faktor $\sqrt{\frac{1}{1-\sigma^2}}$, um den sich die Gleichungen unterscheiden, sind auch nicht zutreffend. Gl. (1) und Gl. (2) gelten gar nicht für denselben Zylinder. Gl. (1) gilt für $l \to 0$ exakt und nicht nur als Näherung, dagegen gilt Gl. (2) für $l \to \infty$. Der Unterschied der Eigenfrequenzen ist durch die Verhinderung der Querkontraktion bei unendlicher Rohrlänge verursacht.

Steigert man die Länge eines Kreisringes, so ist, immer mehr ausgeprägt, die Amplitude der radialen Dehnungsschwingung an den Enden kleiner als in der Mitte. Die Eigenfrequenz wird dabei kleiner als für $l = 0$. Die infolge der Querkontraktion vorhandenen Verschiebungen in axialer Richtung, die an den beiden Enden des Ringes entgegengesetzt gerichtet und in der Mitte der Rohrlänge Null sind, werden immer größer und überwiegen schließlich in ihrer Größe die radialen Verschiebungen. Die radiale Dehnungsschwingung geht kontinuierlich in die Grundschwingung der longitudinalen Dehnungsschwingungen über, wenn die Ring- bzw. Rohrlänge sehr groß gegen den Außenradius wird.

Für die gegenseitige Beeinflussung von Longitudinalschwingungen und radialer Dehnungsschwingung haben GIEBE und BLECHSCHMIDT[29]) eine Kopplungstheorie aufgestellt und durch Versuche bestätigt. Sie fassen den Zylinder als ein Gebilde auf, das aus zwei über die Querkontraktion gekoppelten Schwingungssystemen besteht. Das eine führt nur longitudinale Schwingungen aus, die den ungestörten Längsschwingungen eines dünnen Stabes entsprechen, das andere die radiale Dehnungsschwingung eines dünnwandigen Ringes oder beim Vollzylinder die einer dünnen Kreisscheibe. Infolge der Kopplung der beiden Systeme treten bei einem Rohr endlicher Länge alle Ordnungen der Longitudinalschwingung zweimal auf. Eine Serie liegt unterhalb der radialen Dehnungsschwingung des dünnwandigen Ringes bzw. der Kreisscheibe, die zweite Serie oberhalb der radialen Dehnungsschwingung des unendlich langen Rohres oder Vollzylinders. Zwischen den beiden Serien liegt eine tote Zone, in der keine Schwingungen auftreten.

Die Kopplungsgleichung lautet

$$(11) \qquad (n^2 f_l^2 - f^2)\,(f_{d_{l=0}}^2 - f^2) = \sigma^2 f^4 .$$

Darin bedeutet f_l die Frequenz der ungestörten longitudinalen Grundschwingung des Zylinders, f die Frequenz der von der radialen Dehnungsschwingung beeinflußten, tatsächlich auftretenden Schwingung der Ordnung n und $f_{d_{l=0}}$ die Frequenz der radialen Dehnungsschwingung eines Zylinderstückes mit $l \to 0$. Setzt man $n = 1$, so müßte f gleich der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung f_{d_l} sein, die an einem Zylinder mit der Länge l gemessen wird. Gl. (11) mit $n = 1$ wurde umgerechnet und für das Verhältnis der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung bei der Länge Null zu der Frequenz, die bei der Länge l gemessen wird, folgende Gleichung erhalten

$$(12) \qquad \frac{f_{d_{l=0}}}{f_{d_l}} = \sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\left(\frac{f_l}{f_{d_l}}\right)^2 - 1}} .$$

Um zu prüfen, ob die Anwendung dieser Gleichung zulässig ist, wurde die Absenkung der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung mit steigender Rohrlänge in je einer Versuchsreihe für ein Rohr geringer Wandstärke und für einen Vollzylinder bestimmt. In Tab. 2 und 3 sind die gemessenen Frequenzen der radialen Dehnungsschwingungen, die aus der Schallgeschwindigkeit berechneten Frequenzen der ungestörten Longitudinalschwingungen, die nach der Kopplungstheorie gerechneten Werte für die tatsächliche longitudinale Grundschwingung, die gleich der radialen Dehnungsschwingung bei der Länge l sein soll, und die Abweichung der Rechnung von der Messung eingetragen. Die Aufstellungen zeigen, daß die Kopplungstheorie die Meßwerte des Rohres mit

Tabelle 2

Rohr Nr. 10 $r_a = 19{,}0$ mm; $h = 3{,}94$ mm

$\frac{h}{r_a} = 0{,}207$

$c = 5290$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

l	f_{d_l} gemessen	$f_{l_1} = \frac{c}{2\,l}$	f_{d_l} nach Koppl.-theorie berechnet	$\frac{f_{ber} - f_{gem}}{f_{ber}}$
mm	kHz	kHz	kHz	‰
0	49,75	∞	—	—
6	49,70	441	49,70	± 0
10	49,65	265	49,65	± 0
15	49,55	176,4	49,58	+ 0,6
20	49,40	132,3	49,43	+ 0,6
25	49,20	105,8	49,20	± 0

[29]) E. GIEBE und E. BLECHSCHMIDT, Ann. Phys. (5) 18 (1933), S. 417 u. 457.

Tabelle 3

Vollzylinder Nr. 15 $r_a = 35{,}0$ mm
$c = 5170$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

l	f_{d_l} gemessen	$f_{l_1} = \frac{c}{2l}$	f_{d_l} nach Koppl.-theorie berechnet	$\frac{f_{ber} - f_{gem}}{f_{ber}}$
mm	kHz	kHz	kHz	‰
2	50,20	1293	—	—
5	50,15	517	—	—
10	50,10	258,5	—	—
15	49,80	172,4	50,00	+ 4
24	49,05	107,8	49,65	+ 12
32	47,80	80,80	49,03	+ 25
35	47,20	73,9	48,70	+ 30
38,7	46,45	66,8	48,08	+ 34

dem Verhältnis $\frac{h}{r_a} = 0{,}207$ richtig wiedergibt, die des Vollzylinders dagegen nicht. Bei der Auswertung der Meßwerte für die Ringe Nr. 1, 2, 3 und 6 mit der Länge $l = h$ wurde gleichfalls festgestellt, daß mit wachsendem Wert von $\frac{h}{r_a}$ der nach Gl. (12) aus den Frequenzwerten, die bei $l > 0$ gemessen wurden, für $f_{d_{l=0}}$ berechnete Wert immer mehr von dem tatsächlichen Wert abweicht. Diese Beobachtungen sind eine Bestätigung der Betrachtung von Posener[30]) über die Kopplungstheorie. Er zeigt, daß die Anwendung kopplungstheoretischer Vorstellungen auf das sehr dünnwandige Rohr zulässig ist, beim Vollzylinder aber keine Rechtfertigung in den allgemeinen Gleichungen der Elastizitätstheorie findet. Giebe und Blechschmidt fanden im Gegensatz dazu wenigstens für die erste Serie auch bei Vollzylindern eine gute Übereinstimmung ihrer Theorie mit den Meßwerten[31]).

Da es also keine exakte Theorie gibt, mit deren Hilfe man die bei endlicher Rohrlänge gemessenen Frequenzwerte auf die Länge Null umrechnen könnte, wird hier nur die Auswertung der Messungen der radialen Dehnungsschwingung an den dünnen Kreisscheiben Nr. 4[32]) und Nr. 5, bei denen die Korrektur innerhalb der Meßgenauigkeit liegen würde, in den Tab. 4 und 5 gezeigt. Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit der gemessenen Körper wurde die Auswertung aber in der gleichen Weise auch für die Ringe Nr. 1, 2, 3 und 6 vorgenommen. Durch Mittelung der Fehler gegenüber den theoretischen Werten bei Nr. 4 und 5 sowie durch Auftragen der Fehlerkurve und Extrapolation auf den Wert für $l = 0$ bei Nr. 1, 2, 3 und 6 wurde der genaue Wert der Schallgeschwindigkeit gefunden. Die in den Tab. 4 und 5 eingetragenen Abweichungen der gemessenen Eigenfrequenzen von den nach Gl. (8) berechneten erreichen nur in einem Falle 3‰ und liegen damit innerhalb der Meßgenauigkeit. Die exakte Theorie für die radiale Dehnungsschwingung und die in ihr enthaltenen Theorien für die Grenzfälle des Ringes wird also durch die Versuche vollkommen bestätigt.

Die von Žáček und Petržílka[33]) für die radiale Dehnungsgrundschwingung dünner Quarzscheiben verschiedener Bohrung gemessenen Frequenzwerte stimmen auch auf + 7 bis — 1,8‰ mit den theoretischen Werten nach den Gl. (7) und (8) überein. Für genügend dünne Kreisscheiben ohne Bohrung ist Gl. (3) ebenfalls für verschiedene Ordnungen durch Versuche bestätigt worden[34]). Versuchswerte

[30]) L. Posener, Ann. Phys. (5) 22 (1935), S. 101.

[31]) Eine während der Drucklegung dieser Arbeit erschienene Veröffentlichung bringt eine weitere Bestätigung dafür, daß die Kopplungstheorie von Giebe und Blechschmidt für Vollzylinder nicht gilt. E. Czerlinsky (Akust. Z. 7 [1942], S. 12) gibt nach Love (Lehrb. Elast., Leipz. 1907, S. 333ff.) die exakte Frequenzgleichung für die Längsschwingungen eines unendlich langen Zylinders an. Die numerische Auswertung ergibt, daß keine anomale Dispersion für die Schallgeschwindigkeit, wie sie die Kopplungstheorie fordert, und keine tote Zone auftritt. Die Schallgeschwindigkeit wird vielmehr in dem Frequenzgebiet, wo die axiale Wellenlänge von der Größenordnung des Durchmessers ist, kleiner und nimmt für hohe Frequenzen einen konstanten Wert an, der für Metalle etwa 60% des Wertes bei tiefen Frequenzen beträgt. Messungen, die nach neuen Veröffentlichungen angegeben werden, stehen in Übereinstimmung mit den Rechnungen.

[32]) Die gemessenen Frequenzwerte für die Scheibe Nr. 4 sind in Abb. 5 in Abhängigkeit von h/r_a eingetragen.

[33]) S. Anm. 13.

[34]) U. a. Giebe und Blechschmidt, Ann. Phys. (5) 18 (1933), S. 456.

Tabelle 4

Nr. 4 $r_a = 45{,}00$ mm; $l = 4{,}0$ mm
$c = 5145$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

$\frac{h}{r_a}$	$x_{d\,\mathrm{ber}}$	$f_{d\,\mathrm{ber}}$	$f_{d\,\mathrm{gem}}$	$\frac{f_{\mathrm{ber}}-f_{\mathrm{gem}}}{f_{\mathrm{ber}}}$
—	—	kHz	kHz	‰
0,1093	1,011	19,22	19,25	+ 1
0,1593	1,041	19,80	19,85	— 2,5
0,2308	1,088	20,70	20,70	± 0
0,3333	1,165	22,15	22,15	± 0
0,3865	1,210	23,00	22,95	+ 2
0,4420	1,262	24,00	24,00	± 0
0,5000	1,325	25,20	25,20	± 0
0,5455	1,381	26,25	26,30	— 2
0,6020	1,459	27,75	27,75	± 0
0,6295	1,500	28,55	28,55	± 0
0,6667	1,557	29,61	29,55	+ 2
0,7220	1,651	31,40	31,45	— 1,5
0,7780	1,753	33,35	33,45	— 3
0,8330	1,864	35,45	35,45	± 0
0,8890	1,959	37,26	37,25	+ 0,5
0,9445	2,020	38,43	38,40	+ 1
1,0	2,042	38,85	38,90	— 1,5

Tabelle 5

Nr. 5 $r_a = 57{,}50$ mm, $l = 3{,}0$ mm
$c = 5180$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

r_i	$\frac{h}{r_a}$	$x_{d\,\mathrm{ber}}$	$\frac{r_a}{r_m}\sqrt{1-\sigma^2}$	$f_{d\,\mathrm{ber}}$	$f_{d\,\mathrm{gem}}$	$\frac{f_{\mathrm{ber}}-f_{\mathrm{gem}}}{f_{\mathrm{ber}}}$
mm	—	—	—	kHz	kHz	‰
52,50	0,0870	1,000	1,000	14,99	15,015	— 1,5
50,00	0,1305	1,023	1,018	15,33	15,33	± 0
45,00	0,2170	1,078	1,073	16,15	16,13	+ 1
40,00	0,3040	1,142	1,128	17,11	17,11	± 0
35,00	0,3910	1,213	1,189	18,17	18,20	— 1,5
28,75	0,5000	1,325	1,276	19,85	19,84	+ 0,5
25,00	0,5655	1,406	1,335	21,05	21,00	+ 2,5
20,00	0,6522	1,534	1,420	22,99	23,00	— 0,5
15,00	0,7390	1,684	1,518	25,33	25,35	— 1
10,00	0,8261	1,850	1,630	27,72	27,75	— 1
5,00	0,9130	1,988	1,761	29,79	29,80	— 0,5
2,50	0,9565	2,030	1,835	30,42	30,45	— 1
0	1,0	2,042	1,915	30,60	30,60	± 0

für Ringe mit geringer Wandstärke[35])[36]) stimmten teilweise besser mit der Näherungsformel Gl. (1) überein, als nach der exakten Theorie zu erwarten wäre. NY und CHUNG[37]) bestreiten eine Abhängigkeit der Eigenfrequenz der radialen Dehnungsschwingung von der Ring- bzw. Rohrlänge, obwohl sie sich schon allein aus ihren Versuchswerten von dickwandigen Quarzrohren ergibt, und bilden aus den Meßwerten für verschiedene Längen und verschiedene Verhältnisse von $\frac{h}{r_a}$ einen Mittelwert, den sie mit dem theoretischen Wert nach Gl. (1) vergleichen[38]).

[35]) S. Anm. 29.

[36]) L. ESSEN, Proc. roy. Soc., Lond., Ser. A. 155 (1936), S. 498.

[37]) S. Anm. 11.

2. Umfangsschwingungen

Bei der radialen Dehnungsschwingung von Kreisringen wird der Umfang des Ringes gleichmäßig verlängert oder verkürzt, ohne daß tangentiale Verschiebungen vorhanden sind. Es sind aber auch Schwingungen möglich, bei denen der Ringumfang teils verlängert, teils verkürzt wird. Die Verschiebungen sind dabei vorwiegend tangential. Die unterste Ordnung ($n = 1$) hat einen Knotendurchmesser. Auch bei den höheren Ordnungen entspricht die Zahl der Knotendurchmesser der Ordnungszahl. Die Schwingungsform für den dünnwandigen Ring ist schematisch in Abb. 2b für die unterste Ordnung und in Abb. 2c für die zweite Ordnung angegeben. Außer den tangentialen Verschiebungen sind auch noch kleine radiale Verschiebungen vorhanden, die mit zunehmender Wandstärke und Ordnungszahl in ihrer Größe abnehmen. Wie schon erwähnt, werden diese Schwingungen bei radialer magnetischer Anregung über die Anregung der radialen Schwingungskomponente erregt. Die bisher in der Literatur für diese Schwingungen gebrauchte Bezeichnung „Längsschwingungen" ist nicht glücklich gewählt, und wurde hier durch die Bezeichnung „Umfangsschwingungen" ersetzt.

Bei den Umfangsschwingungen wird die Ringlänge wegen der wechselnden Längung und Kürzung des Ringumfanges im Mittel nicht geändert. Die Schwingungen sind also nicht mit Longitudinalschwingungen gekoppelt und daher bei beliebiger Ring- bzw. Rohrlänge möglich. Sie wurden hier aber nur an einem Ring bzw. einer Kreisscheibe mit Bohrung untersucht,

[38]) Auch bei anderen Schwingungsarten sind fast in keinem Fall die Voraussetzungen der einfachen Theorien erfüllt, die die Verfasser mit ihren Messungen vergleichen.

deren axiale Abmessung sehr klein gegen den Radius war.

Die Eigenfrequenzen der Umfangsschwingungen sind für den dünnwandigen Ring durch die Gl. (1) von Love gegeben, wobei $n \gtrsim 1$ ist.

$$(1) \qquad f_{u_n} = \frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}\sqrt{1+n^2}\,.$$

Die Frequenz der tiefsten Umfangsschwingung ist das $\sqrt{2}$fache der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung für den gleichen Ring. Im Handb. f. Phys. von Geiger und Scheel (Bd. VIII, S. 204) werden die Umfangsschwingungen als Längsschwingungen eines zu einem Kreis gebogenen Stabes mit n-Wellenlängen auf dem Umfang betrachtet. Das führt zu falschen Eigenfrequenzen. Danach wäre z. B. $f_{u_1} = f_d$ statt $f_{u_1} = \sqrt{2}\cdot f_d$. Die Umfangsschwingungen eines Ringes mit beliebiger Wandstärke oder einer Kreisscheibe sind bisher theoretisch weder in Bezug auf die Eigenfrequenzen noch auf die Schwingungsform behandelt worden. Auch Versuche darüber sind nicht bekannt. Giebe und Blechschmidt[39]) haben für vier Ordnungen die Gl. (1) durch Messungen an einem sehr dünnwandigen Quarzrohr bis auf 1% bestätigt.

Vor der Angabe der Eigenfrequenzmessungen soll auf die Schwingungsform der Umfangsschwingungen bei sehr großen Wandstärken, wie sie in den hier besprochenen Versuchen durch Abtasten mit dem Tonabnehmer bestimmt wurde, eingegangen werden. Bei einer Kreisscheibe nehmen die tangentialen Verschiebungen nicht so wie die radialen bei der radialen Dehnungsschwingung an der Achse mit Null beginnend zum Umfang hin in ihrer Größe zu. Es ist vielmehr außer den n-Knotendurchmessern immer auch ein Knotenkreis vorhanden, der aber in seiner Lage unabhängig von der Wandstärke des Ringes ist. Der Radius des Knotenkreises ist $r_k \approx 0{,}5 \cdot r_a$. Die Schwingungsform ist schematisch in Abb. 4 dargestellt. Die Verschiebungen sind an der Achse Null, nehmen mit der Entfernung von der Achse in ihrer Größe zunächst zu, dann aber wieder ab und sind an dem Knotenkreis Null. Nach Umkehren ihrer Richtung erreichen sie am Ringumfang ihren größten Wert. Wenn man die Kreisscheibe mit einer wachsenden Bohrung versieht, so bleibt die Lage des Knotenkreises und die Verteilung der Verschiebungen fast ungeändert. Die innere Zone bis zum Knotenkreis wird langsam kleiner. Wenn der Innenradius gleich dem Radius des Knotenkreises ge-

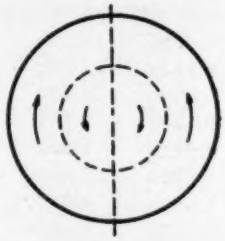


Abb. 4.
Schema der Drillungsschwingung einer Kreisscheibe in der Scheibenebene mit einem Knotenkreis und einem Knotendurchmesser als Grenzfall der Umfangsschwingung ($n=1$) eines Kreisringes für $h/r_a = 1$

worden ist $\left(\frac{h}{r_a} = 0{,}5\right)$, so ist nur noch die äußere Zone mit ihrer der inneren entgegengesetzten Schwingungsrichtung vorhanden. Die Amplitude ist dann am Umfang des Ringes ein Maximum und am inneren Rande Null.

Die Größe des Knotenkreises ist von der Ordnungszahl ganz unabhängig und ändert sich mit der Größe von $\frac{h}{r_a}$ nur sehr wenig. In Tab. 6 ist die gemessene Größe von r_k für verschiedene Werte von $\frac{h}{r_a}$ eingetragen. Dabei wurden jeweils die Werte für die ersten vier Ordnungen gemittelt.

Tabelle 6

Radius des Knotenkreises r_k

$\frac{h}{r_a}$	1,0	0,957	0,827	0,652	0,565
$\frac{r_k}{r_a}$	0,50	0,50	0,505	0,515	0,53

Bei allen bekannten Eigenschwingungsarten von Kreisscheiben mit Knotenkreisen (radiale Dehnungsschwingungen höherer Ordnung, Biegeschwingungen senkrecht zur Scheibenebene und Drillungsschwingungen um die Achse in der Scheibenebene) verschieben sich die Knotenkreise nach außen, wenn die Scheiben mit Bohrungen versehen werden. Die Größe der Knotenkreise ist wie bei allen Kreiszylinderproblemen durch Gleichungen bestimmt, die Besselsche Funktionen enthalten. Daher ist in keinem

[39]) E. Giebe und E. Blechschmidt, Ann. Phys. (5) 18 (1933), S. 445.

anderen Fall der Radius eines Knotenkreises genau halb so groß wie der Außenradius.

Um die Schwingungsform der Umfangsschwingungen von Ringen mit großer Wandstärke oder von Kreisscheiben mit bekannten Eigenschwingungsarten vergleichen zu können, soll kurz auf die Drillungsschwingungen um die Achse von Kreisscheiben eingegangen werden, die aber nichts mit den Ringdrillungsschwingungen zu tun haben. Diese Schwingungen sind bisher theoretisch [40] [41] und durch Versuche [41] [42] bekannt mit $m \geq 1$ Knotenkreisen, aber ohne Knotendurchmesser. Die Verschiebungen sind tangential. Mit größer werdender Bohrung verschieben sich die Knotenkreise nach außen, und die Eigenfrequenzen dieser Schwingungen werden schließlich Unendlich. Bei den hier beschriebenen Untersuchungen wurden noch andere, bisher nicht bekannte Drillungsschwingungen in der Ebene von Kreisscheiben bzw. Kreisscheiben mit Bohrungen gefunden, nämlich Drillungsschwingungen mit $m \geq 1$ Knotenkreisen und $n \geq 1$ Knotendurchmessern. Diese Schwingungen verhalten sich mit $m \geq 2$ Knotenkreisen so wie die bekannten Drillungsschwingungen ohne Knotendurchmesser, d. h. die Knotenkreise werden beim Aufbohren größer, und die Eigenfrequenzen gehen nach Unendlich. Anomal verhält sich nur die Drillungsschwingung mit einem Knotenkreis und $n \geq 1$ Knotendurchmessern. Das ist aber die oben beschriebene Ringumfangsschwingung [43]. Außer der fast unveränderlichen Größe des Knotenkreises sind bei ihr auch die Eigenfrequenzen bis zum dünnwandigen Ring hin $\left(\frac{h}{r_a} \to 0\right)$ wenig von der Größe der Bohrung abhängig. Da die Schwingungen theoretisch nicht behandelt sind, kann keine Erklärung für dieses Verhalten gegeben werden.

Die Frequenzen der Umfangsschwingungen wurden an einer dünnen Kreisscheibe mit und ohne Bohrung bei konstantem Außenradius für vier Ordnungen gemessen. Die Meßwerte sind in Tab. 7 und Abb. 5 eingetragen, und zwar für $\frac{h}{r_a} = 0$ die theoretischen Werte nach Gl. (1).

[40]) V. Petržílka, Časopis pro pěestovani matematiky a fysiky 65 (1936), S. 110.

[41]) S. Anm. 13. [42]) S. Anm. 16.

[43]) B. Pavlík [42]) bemerkt in seiner Veröffentlichung, in der er u. a. die Messung der Eigenfrequenz einer Drillungsschwingung einer Kreisscheibe mitteilt, daß die Drillungsschwingungen identisch mit den Loveschen Längsschwingungen (Umfangsschwingungen) seien. Dies trifft nicht zu. Die bisher bekannten Drillungsschwingungen von Kreisscheiben haben nur Knotenkreise, die Loveschen Längsschwingungen (Umfangsschwingungen) dagegen haben beim dünnwandigen Ring, für den sie bisher ausschließlich bekannt waren, nur Knotendurchmesser.

Tabelle 7. Nr. 5 $r_a = 57{,}50$; $l = 3{,}0$ mm; $c = 5180$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

r_i	$\frac{h}{r_a}$	f_d	f_{u_1}	$\frac{f_{u_1}}{f_d}$	f_{u_2}	$\frac{f_{u_2}}{f_d}$	f_{u_3}	$\frac{f_{u_3}}{f_d}$	f_{u_4}	$\frac{f_{u_4}}{f_d}$
mm	—	kHz	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—
	0	14,34	20,28 berechn.	1,414	32,07 berechn.	2,235	45,38 berechn.	3,163	59,15 berechn.	4,125
52,50	0,0870	14,99	21,20	1,414	33,50	2,234	47,25	3,153	61,60	4,110
50,00	0,1305	15,33	21,55	1,405	34,00	2,217	48,20	3,143	62,65	4,085
45,00	0,2170	16,15	22,55	1,397	35,35	2,190	49,80	3,085	64,75	4,010
40,00	0,3040	17,11	23,55	1,377	36,45	2,130	51,20	2,993	66,10	3,865
35,00	0,3910	18,17	24,35	1,340	37,15	2,045	51,70	2,845	66,15	3,643
28,75	0,5000	19,85	25,10	1,265	37,30	1,879	51,25	2,582	64,70	3,260
25,00	0,5655	21,05	25,50	1,212	37,10	1,762	50,75	2,412	63,90	3,070
20,00	0,6522	22,99	25,50	1,109	36,80	1,600	50,20	2,184	64,10	2,790
15,00	0,7390	25,23	25,25	1,002	36,65	1,453	50,60	2,006	65,00	2,577
10,00	0,8261	27,72	24,85	0,897	36,90	1,332	51 45	1,857	65,60	2,368
5,00	0,9130	29,79	24,40	0,819	37,25	1,251	51,90	1,743	66,25	2,225
2,50	0,9565	30,42	24,50	0,805	37,60	1,237	52,00	1,710	66,35	2,182
0	1,0	30,60	24,25	0,793	37,65	1,230	52,10	1,703	66,45	2,172

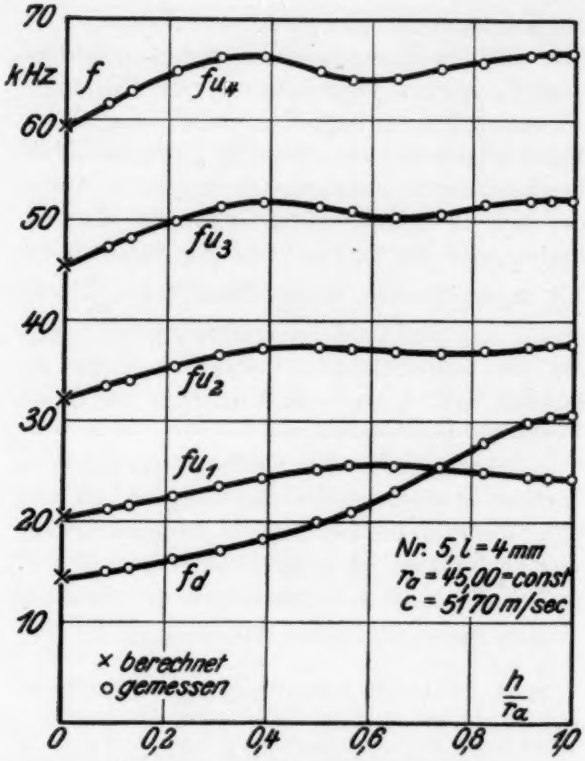


Abb. 5. Eigenfrequenzen der radialen Dehnungsschwingung und der Umfangsschwingungen einer dünnen Kreisscheibe mit beliebiger Bohrung bei konstantem Außenradius in Abhängigkeit von h/r_a

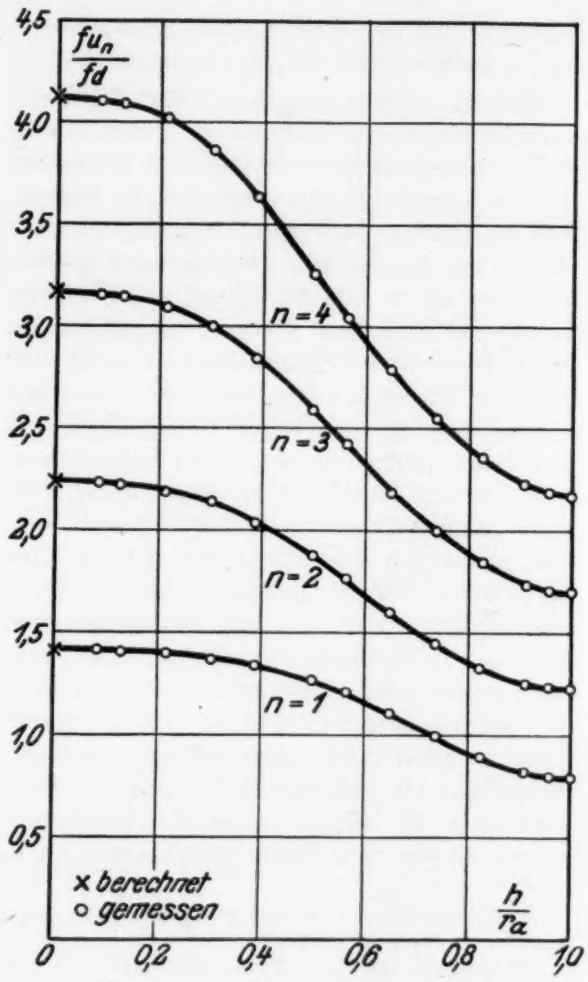


Abb. 6. Verhältnis der Frequenzen der Umfangsschwingungen zu der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung in Abhängigkeit von h/r_a

Die Eigenfrequenzen haben im Gegensatz zu denen aller anderen Schwingungsarten keinen monotonen Verlauf in Abhängigkeit von $\frac{h}{r_a}$. Wenn man eine Kreisscheibe mit einer wachsenden Bohrung versieht, erhält man eine bestimmte Eigenfrequenz nicht nur bei einem, sondern u. U. auch bei zwei bis drei verschiedenen Werten von $\frac{h}{r_a}$. Hinter den Frequenzwerten in Tab. 7 sowie in Abb. 6 ist das Verhältnis der Frequenzen der Umfangsschwingungen zu der Frequenz der radialen Dehnungsschwingung des gleichen Ringes aufgetragen, ebenfalls für $\frac{h}{r_a} = 0$ die theoretischen Werte nach Gl. (1). Die Abb. 6 zeigt, daß dieses Frequenzverhältnis monoton verläuft. Aus den Abb. 5 und 6 sieht man, daß die theoretischen Werte mit den Messungen gut übereinstimmen[44]).

[44]) Ny und Chung (s. Anm. 11) geben Meßwerte für eine Schwingung von Quarzrohren an, deren Frequenz nur vom Außenradius abhängen soll, über deren Natur sie aber auf Grund von Staubfiguren keine Angaben machen konnten. Ihre Messungen stimmen teilweise mit ziemlicher Genauigkeit für einen großen Bereich von h/r_a mit den hier gemessenen Frequenzen der Umfangsschwingung mit $n = 3$ überein. Daß sich diese Ordnung bei Quarzrohren piezoelektrisch sehr gut anregen lassen soll, ist verständlich, da bei ihr die Ordnungszahl mit der Anzahl der elektrischen Achsen von Quarz übereinstimmt.

3. Drillungsschwingungen

Die Drillungsschwingungen von Kreisringen bestehen vorwiegend in Drehungen der Ringquerschnitte in ihrer Ebene um ihren Mittel-

punkt. Daneben treten bei den höheren Ordnungen noch kleine Verschiebungen in axialer Richtung, also senkrecht zum Radius, auf[45]). Bei der untersten Ordnung ($n = 0$) wird der Ring ohne Knoten auf dem ganzen Umfang gleichzeitig nach innen oder außen gestülpt (Abb. 2e). Bei den höheren Ordnungen mit einem oder mehreren Knotendurchmessern wechselt die Schwingungsrichtung periodisch auf dem Umfang (Abb. 2f, $n = 1$). Diese Drillungsschwingungen wurden hier für den Spezialfall des quadratischen Ringquerschnittes untersucht[46]).

MICHELL[47])[48]) und BASSET[45]) stellten für den Kreisring mit dem mittleren Radius r_m und kreisförmigem Querschnitt die Frequenzgleichung der Drillungsschwingungen auf. Sie lautet in neuerer Schreibweise

$$(13)\quad f_{dr_n} = \frac{1}{2\pi r_m}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}\sqrt{\frac{n^2+1+\sigma}{2(1+\sigma)}} = \sqrt{\frac{n^2+1+\sigma}{2(1+\sigma)}}\cdot f_d .$$

Für $n = 0$ ist z. B. $f_{dr_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}\cdot f_d$. Für den rechteckigen Ringquerschnitt besteht keine Frequenzgleichung. Die Versuche zeigten, daß man Gl. (13) beim quadratischen Querschnitt selbst für $\frac{h}{r_a} \to 0$ nur als grobe Näherung benutzen kann. Aus den Versuchswerten wurde für $l = h$ der Koeffizient x_{dr} in folgender Gleichung ermittelt

$$(14)\quad f_{dr_n} = \frac{x_{dr_n}}{2\pi r_a}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}.$$

Dabei ist x_{dr_n} von $\frac{h}{r_a}$ abhängig.

Tabelle 8. Nr. 6 $r_a = 45{,}00$ mm; $l = h$; $c = 5170$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$

$\frac{h}{r_a}$	f_{dr_0}	x_{dr_0}	f_{dr_1}	x_{dr_1}	f_{dr_2}	x_{dr_2}	f_{dr_3}	f_{dr_4}	f_{dr_5}
—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	kHz	kHz
0,0855	13,60	0,744	17,57	0,960	27,10	1,482	35,85	46,30	56,90
0,1662	14,18	0,775	18,28	0,999	28,20	1,542	37,75	48,85	60,15
0,2307	14,77	0,807	19,06	1,042	29,05	1,589	39,80	51,20	63,10
0,2857	15,24	0,833	19,75	1.079	30,05	1,633	41,35	53,65	66,15
0,3752	16,22	0,887	21,05	1,152	32,15	1,758	45,00	58,65	72,25
0,4445	17,05	0,932	22,25	1,218	34,30	1,875	48,50	63,05	77,60
0,5000	17,85	0,976	23,40	1,280	36,45	1,992	51,55	66,75	—
0,5450	18,50	1,011	24,45	1,337	38,40	2,100	54,00	69,25	—
0,6000	19,41	1,061	25,90	1 415	40,95	2,239	56,90	—	—
0,6667	20,60	1,127	27,70	1,515	43,75	2,392	60,70	—	—
0,7220	21,75	1,189	29,65	1,621	46,05	2,518	63,90	—	—

In Tab. 8 und Abb. 7 sind für den Ring Nr. 6 die gemessenen Frequenzen von 5 Ordnungen eingetragen, in Abb. 8 die aus den Messungen an den Ringen Nr. 2 und 6 gefundenen Werte für x_{dr_n} ($n = 0$ bis 2). In Tab. 9 sind für ein-

Tabelle 9
Mittelwerte nach Fig. 6 und 7

$\frac{h}{r_a}$	x_{dr_0}	x_{dr_1}	x_{dr_2}	x_{dr_3}	x_{dr_4}	x_{dr_5}
0	0,712	0,916	1,435	1,925	2,465	2,995
0,1	0,750	0,967	1,496	1,982	2,554	3,140
0,2	0,792	1,024	1,566	2,110	2,735	3,370
0,3	0,841	1,093	1,656	2,235	2,990	3,675
0,4	0,899	1,174	1,798	2,530	3,308	4,055
0,5	0,972	1,280	1,992	2 820	3,650	—
0,6	1,060	1,415	2,222	3,122	4,035	—
0,7	1,160	1,572	2,473	3,430	—	—

[45]) A. B. BASSET (London Math. Soc. Proc. 23 [1892]) fand, daß es zwei Schwingungsarten eines Kreisringes gibt, bei denen Verschiebungen senkrecht zum Radius und Verdrehungen der Querschnitte um ihren Mittelpunkt vorkommen, nämlich die Drillungsschwingungen und die später noch behandelten Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene.

[46]) Für einen in axialer Richtung dünnen Kreisring gehen die Ringdrillungsschwingungen beim Übergang zur Kreisscheibe in die von G. KIRCHHOFF (Ges. Werke, S. 237 u. 279) berechneten Biegeschwingungen mit einem Knotenkreis und $n \gtrless 0$ Knotendurchmessern über.

[47]) J. H. MICHELL, Mess. of Math. 19 (1889), S. 68.

[48]) S. a. A. E. H. LOVE, Lehrb. d. Elast., Leipz. 1907, S. 520.

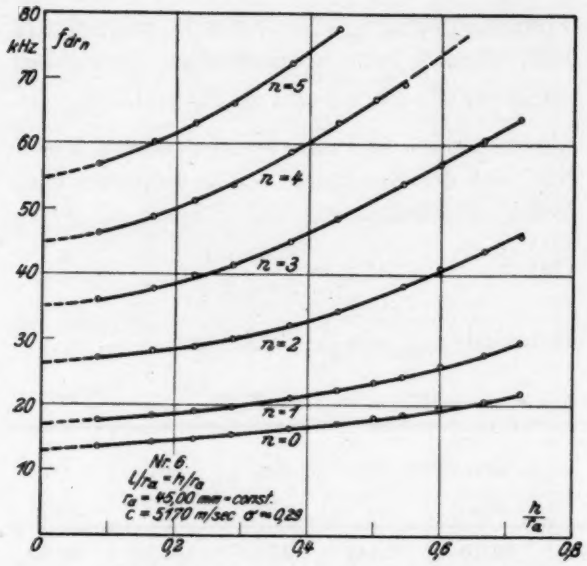


Abb. 7. Abhängigkeit der Frequenzen der Drillungsschwingungen von h/r_a bei quadratischem Ringquerschnitt und konstantem Außenradius

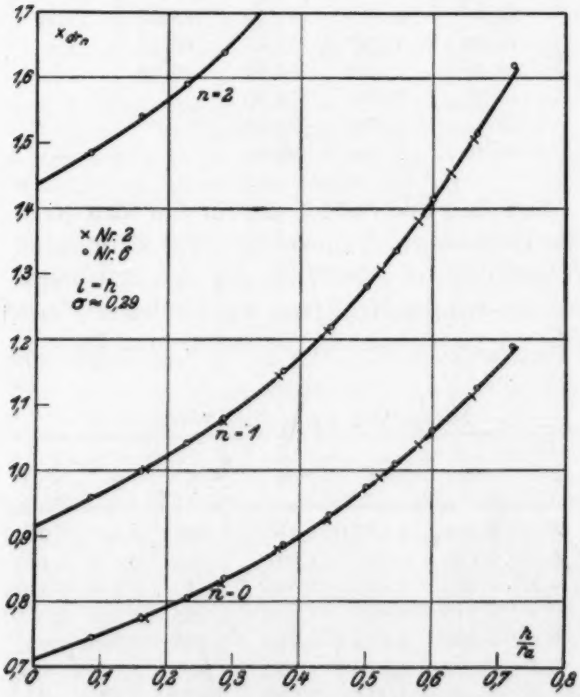


Abb. 8. Koeffizient der Frequenzgleichung der Drillungsschwingungen in Abhängigkeit von h/r_a bei quadratischem Ringquerschnitt

fache numerische Werte von $\frac{h}{r_a}$ die bei Auftragung der Kurven von Abb. 8 in großem Maßstab graphisch bestimmten Mittelwerte angegeben. Das Verhältnis der Drillungsschwingungen zur radialen Dehnungsschwingung, das nach der einfachen Theorie für Kreisquerschnitte nach Gl. (13) eine Konstante sein soll, ist übrigens, wie man leicht feststellen kann, für $n = 1$ und $n = 2$ fast unabhängig von $\frac{h}{r_a}$, bei höheren Ordnungen steigt es mit wachsendem Wert von $\frac{h}{r_a}$ etwas an.

Bisher waren m. W. keine Messungen von Drillungsschwingungen von Kreisringen bekannt.

4. Biegeschwingungen in der Ringebene

a) Schwingungsform

Die Schwingungsform der Biegeschwingungen in der Ringebene mit $n \gtrsim 2$ wird schematisch durch die Abb. 2d ($n = 2$) angegeben. Die Verschiebungen sind vorwiegend radial. Kleine tangentiale Verschiebungen haben ihre Maxima bei den Knotenstellen der radialen Verschiebungen. Die axialen Verschiebungen sind Null. Die Zahl der Knoten auf dem Umfang ist $2n$. Die Eigenfrequenzen der Schwingungen sind in erster Näherung von der axialen Abmessung der Ringe unabhängig. Bei längeren Ringen bzw. Rohren ist die radiale Amplitude auf der ganzen Länge konstant[49]). Bei Ringen mit

[49]) Bei Rohren und Vollzylindern gibt es, wie hier erstmalig festgestellt wurde, außer diesen zweidimensionalen auch noch dreidimensionale Biegeschwingungen, bei denen auch axiale Verschiebungen vorhanden sind, und die gewissermaßen eine Verbindung der Biegeschwingungen in der Ringebene mit axialsymmetrischen Biegewellen darstellen. Die Verteilung der radialen Verschiebungen in einem Schnitt senkrecht zur Zylinderachse ist die gleiche wie bei den zweidimensionalen Schwingungen ($2n$ Knoten auf dem Umfang, $n \gtrsim 2$), längs des Zylinders wechselt aber die Schwingungsrichtung periodisch. Für jede Ordnung der zweidimensionalen Schwingungen gibt es unendlich viele dreidimensionale, deren Frequenzen immer höher sind als die der zweidimensionalen der gleichen Ordnung n, mit $m \gtrsim 1$ Knotenkreisen auf der Gesamtlänge. Beim Übergang zum sehr kurzen Rohr ($l \to 0$) werden die Eigenfrequenzen dieser dreidimensionalen Schwingungen Unendlich. Von diesen

großer Wandstärke und bei Kreisscheiben entspricht die Tiefe, bis zu der die Verschiebungen vom Umfang aus eindringen, nur etwa dem Einfachen bis Eineinhalbfachen des Knotenabstandes auf dem Umfang. Mit wachsender Ordnungszahl wird die Eindringtiefe also immer geringer. Wie unten noch gezeigt wird, hat das zur Folge, daß die Eigenfrequenzen bei hohen Ordnungen von einem bestimmten Wert von $\frac{h}{r_a}$ an konstant bleiben, denn ob weiter innen im Ring, wo die Verschiebungen Null sind, noch Material ist oder nicht, hat keinen Einfluß auf die Schwingungen.

b) Theorien

Die Gleichung für die Schwingungszahl der Biegeschwingungen in der Ringebene mit $2n$ Knoten auf dem Umfang wurde zuerst von HOPPE[50]) für den dünnen Ring mit Kreisquerschnitt aufgestellt (b = Querschnittsradius). Bei der Aufstellung dieser Gleichung sind nur die Biegesteifigkeit und die Masse berücksichtigt.

$$f_{b_n} = \frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1}} \frac{b}{4\pi r_m^2} \sqrt{\frac{E}{\varrho}}. \tag{15}$$

Für allgemeine Querschnitte mit der Fläche q und dem Trägheitsmoment J um die zur Ringachse parallele Querschnittsachse lautet sie[51])

$$f_{b_n} = \frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1}} \frac{1}{2\pi r_m^2} \sqrt{\frac{J}{q}} \sqrt{\frac{E}{\varrho}} \tag{15a}$$

und für den Rechteckquerschnitt mit der Querschnittshöhe h, wenn man für den ersten Quotienten die Abkürzung $\sqrt{k_n}$ einsetzt,

$$f_{b_n} = \frac{1}{4\pi\sqrt{3}} \sqrt{k_n} \frac{h}{r_m^2} \sqrt{\frac{E}{\varrho}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{3}} \sqrt{k_n} \frac{h/r_a}{\left(1-\frac{h}{2r_a}\right)^2} \frac{c}{r_a}. \tag{15b}$$

Nach der letzten Schreibweise ist die Frequenz durch drei Faktoren bestimmt. $\sqrt{k_n}$ hängt nur von der Ordnungszahl ab, der nächste Quotient nur von $\frac{h}{r_a}$ und der letzte vom Außenradius und der Schallgeschwindigkeit c des Ringes. Nach dieser einfachen, für $\frac{h}{r_a} \to 0$ und $l \to 0$ gültigen Formel ist die Eigenfrequenz von der Ringlänge l unabhängig.

FEDERHOFER[52]) berücksichtigte in eindimensionaler Behandlung den Einfluß der Dehnung der Querschnittsachse, der Rotationsträgheit des Querschnitts und der Schubkraft auf die Frequenzen der Biegeschwingungen eines Kreisringes. Der Faktor $k = \frac{n^2(n^2-1)^2}{n^2+1}$ wird ersetzt durch $k = \psi \cdot k_0$ ($\psi < 1$). Die von der Schubkraft herrührende Verbesserung der einfachsten Theorie ist um ein Mehrfaches größer als die von der Drehträgheit herrührende, diese wieder mehrfach größer als die durch die Dehnung verursachte. Es soll hier nicht näher auf die Theorie eingegangen werden. Als Beispiel wurde $\sqrt{k_2}$ auf Grund der Theorie für einen größeren Bereich von $\frac{h}{r_a}$ berechnet und zusammen mit dem Wert nach der gewöhnlichen, eindimensionalen Theorie, den Werten nach der unten angeführten, zweidimensionalen Theorie und den Meßwerten in Abb. 9 eingetragen. Die Verkleinerung von $\sqrt{k_2}$ mit größer werdendem Verhältnis $\frac{h}{r_a}$ nach der eindimensionalen Theorie ist viel zu groß. Für $\frac{h}{r_a} < 0{,}2$ liegt die Abweichung vom genauen Wert aber noch unter 1%.

Die exakte, zweidimensionale Theorie wurde auch von FEDERHOFER[53]) aufgestellt. Die

Schwingungen ist theoretisch nur die mit einem Knotenkreis in der Mitte der Rohrlänge bekannt (A. E. H. LOVE, Lehrb. d. Elast., Leipz. 1907, S. 583 und 625). Es kann auf diese Schwingungen, die nicht zu den Ringschwingungen gehören, hier nicht näher eingegangen werden. Bei langen Rohren mußten die wenigen zweidimensionalen Biegeschwingungen, deren Eigenfrequenzen gemessen werden sollten, aus hunderten verschiedenen dreidimensionalen Biegeschwingungen und anderen Rohrschwingungen, die in dem untersuchten Frequenzbereich auch angeregt wurden, herausgesucht werden.

[50]) R. HOPPE, Crelles J. Math. 73 (1871), S. 158.
[51]) K. FEDERHOFER, Ing.-Arch. 4 (1933), S. 110.
[52]) K. FEDERHOFER, S.-B. Akad. Wiss. Wien IIa 144 (1935), S. 307.
[53]) K. FEDERHOFER, S.-B. Akad. Wiss. Wien IIa 144 (1935), S. 583.

axialen Verschiebungen sind gleich Null gesetzt. Die Theorie gilt für den unendlich langen Zylinder. Die Entwicklung der aufgestellten Determinante erfordert schon für die Grundschwingung einen sehr großen Rechenaufwand, da die vielfachen, vorkommenden BESSELschen Funktionen in Reihen entwickelt werden müssen. Für die Oberschwingungen würde sich der Aufwand noch erheblich steigern. Für neun Verhältnisse $\frac{h}{2r_m}$ wurden die Werte für k_2 mit $\sigma = 0{,}25$ von FEDERHOFER berechnet. Sie sind in Tab. 10 eingetragen. $\sqrt{k_2}$ für das dünnwandige, unendlich lange Rohr $\left(\frac{h}{r_a} \to 0\,,\, l \to \infty\right)$ liegt um $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}}$ höher als der Wert $\sqrt{7{,}2}$ nach der einfachsten Theorie, die für den dünnwandigen Ring und $l \to 0$ gilt.

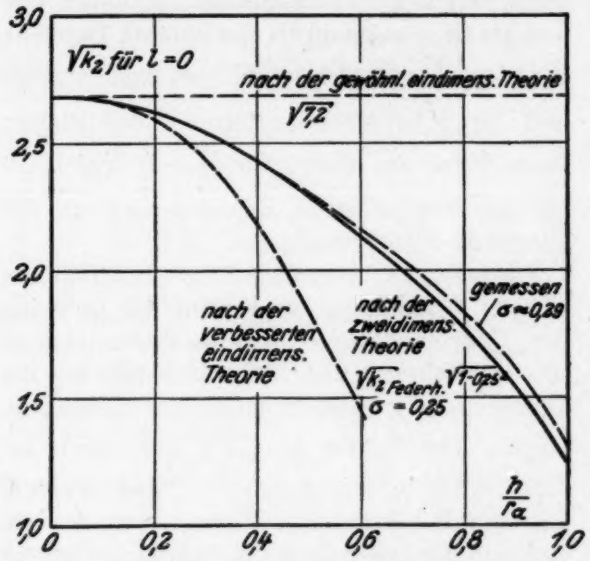


Abb. 9. Gemessene und nach verschiedenen Theorien berechnete Werte des Koeffizienten der Frequenzgleichung der tiefsten Biegeschwingung in der Ringebene für die Ringlänge Null in Abhängigkeit von h/r_a

Daß praktisch dehnungslose Schwingungen ohne axiale Verschiebungen ($l \to \infty$) in der zur Zylinderachse senkrechten Ebene um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}}$ höhere Eigenfrequenz als der in axialer Richtung dünne Ring ($l \to 0$) haben, wurde für dünnwandige unendlich lange Rohre schon von LOVE[54]) angegeben. Dieser Faktor wird auch beim Vergleich der zahlenmäßigen Ergebnisse der zweidimensionalen Theorie ($l = \infty$) von FEDERHOFER mit denen der verbesserten eindimensionalen Theorie ($l = 0$) in dem für letztere gültigen Bereich $\left(\frac{h}{r_a} = 0 \text{ bis etwa } 0{,}2\right)$ für $n = 2$ gut bestätigt. Er gibt aber ganz allgemein für alle Ordnungen und Werte von $\frac{h}{r_a}$ für $l = \infty$ den Einfluß der behinderten Querdehnung an[55]).

Hiernach ergeben sich die dem Fall $l = 0$ entsprechenden Werte durch Herabsetzung der von FEDERHOFER für $l = \infty$ berechneten um den Faktor $\sqrt{1-0{,}25^2}$. Sie sind in der fünften Spalte von Tab. 10 eingetragen.

Tabelle 10. Von FEDERHOFER nach der zweidimensionalen Theorie für $\sigma = 0{,}25$ berechnete Werte

$\frac{h}{2r_m}$	$\frac{h}{r_a}$	$k_{2\,l=\infty}$	$\frac{k_{2\,l=0}}{7{,}2} = \frac{k_{2\,l=0}}{7{,}68} \cdot k_{2\,l=\infty}$	$\sqrt{k_{2\,l=0}}$	$\sqrt{k_{2\,l=0}}$ gemessen (nach Abb. 16)
0	0	7,68	7,2	2,683	2,683
0,0245	0,0478	7,66296	7 1841	2,680	2,680
0,0548	0,1039	7,59252	7,1179	2,669	2,669
0,1	0,1818	7,39837	6,9360	2,634	2,634
0,1732	0,2955	6,90973	6,4780	2,546	2,550
1/3	0,5	5,56506	5,218	2,284	2,292
0,5477	0,7080	4,04744	3,794	1,947	1,984
2/3	0,8	3,37024	3,159	1,777	1,837
3/4	0,8571	2,90266	2,722	1,650	1,715
1	1	1,6518	1,548	1,244	1,304

c) Messungen der Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von der Ring- bzw. Rohrlänge

Die Abhängigkeit der Frequenzen der Biegeschwingungen von der Ringlänge l zwischen $l = 0$ und $l = \infty$ bei im übrigen konstanten Abmessungen wäre nur einer dreidimensionalen Theorie zugänglich. Sie wurde hier experimentell untersucht. Da es sich zeigte, daß sie von $\frac{h}{r_a}$ und von der Ordnungszahl abhängt, wurde sie in der oben (S. 130) angegebenen Weise für einige Rohre mit verschiedenem Wert von $\frac{h}{r_a}$ durch mehrere Hundert Meßwerte bestimmt.

[54]) A. E. H. LOVE, Lehrb. d. Elast., Leipz. 1907, S. 583.

[55]) Diese Tatsache wurde in einer brieflichen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. K. FEDERHOFER freundlicherweise bestätigt.

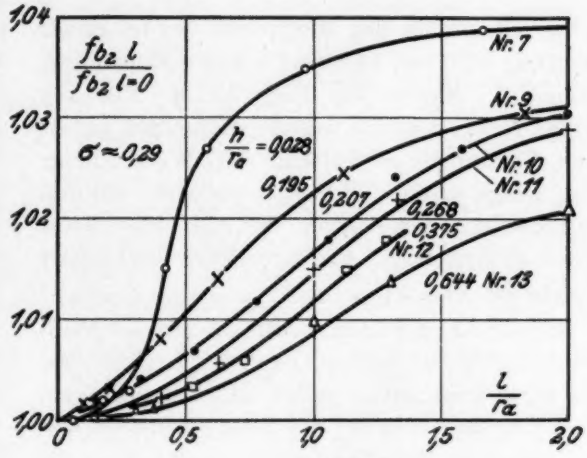


Abb. 10

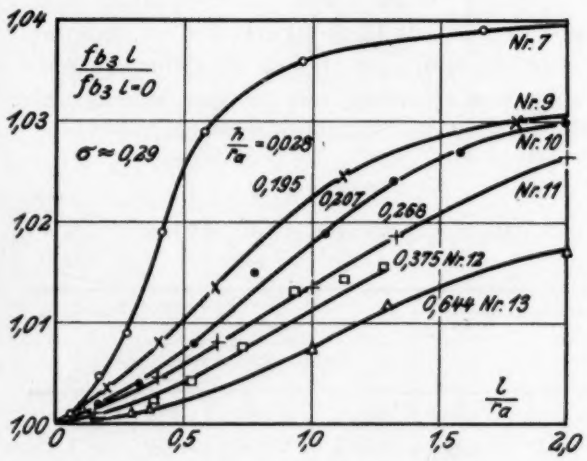


Abb. 11

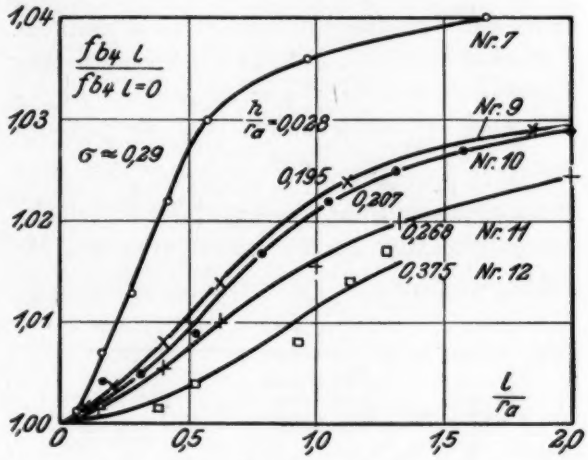


Abb. 12

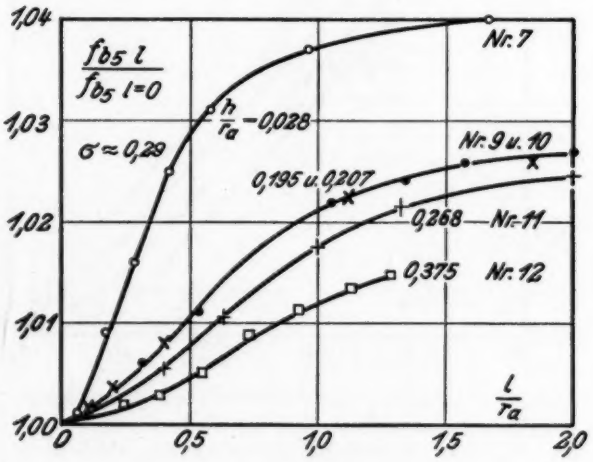


Abb. 13

Abb. 10—13. Abhängigkeit der Frequenzen der Biegeschwingungen in der Ringebene von der Ringlänge für verschiedene Werte von h/r_a ($n = 2$ bis 5)

Für die untersten Ordnungen sind die Messungen in Abb. 10—13 eingetragen. Das Verhältnis der Eigenfrequenzen eines Ringes bzw. Rohres mit der Länge l zu denen eines Ringes mit der Länge $l = 0$ ist über der relativen Rohrlänge $\frac{l}{r_a}$ aufgetragen. Je kleiner $\frac{h}{r_a}$ und je höher die Ordnungszahl ist, um so schneller steigt die Eigenfrequenz mit wachsender Länge an und erreicht asymptotisch den Wert für die Länge $l = \infty$. Erstaunlich ist, daß z. B. für das dünnste Rohr $\left(\frac{h}{r_a} = 0{,}028\right)$ der Endwert annähernd schon bei $\frac{l}{r_a} = 2$ erreicht ist. Das entspricht für die unterste Schwingungsordnung einer axialen Länge, die gleich ist $\frac{2}{\pi} = 0{,}64$ Biegewellenlängen auf dem Umfang.

Die Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von der Rohrlänge wurde bis zu wesentlich größeren Längen, als sie in Abb. 10—13 eingetragen sind, untersucht. Als Beispiel seien folgende Ergebnisse angegeben. Beim Rohr Nr. 10 war der Endwert für $l \to \infty$ (200 cm) bei $l = 10$ cm für f_{b_3} schon bis auf $5\,^0/_{00}$, für f_{b_5} bis auf $0{,}5\,^0/_{00}$ erreicht. Die aus Tab. 1 ersichtlichen größten Längen genügten also in einigen Fällen durchaus, um die Eigenfrequenzen für die Länge Un-

endlich mit größter Genauigkeit zu bestimmen. Für diese Fälle gibt Abb. 14 das Verhältnis der Eigenfrequenzen bei $l \to \infty$ zu denen bei $l \to 0$ an. Das Verhältnis müßte nach der Theorie konstant $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}} = 1{,}045$ für $\sigma = 0{,}29$ sein. Beim dünnsten Rohr wurde auch für 12 Schwingungsordnungen der Wert 1,046 erhalten. Mit größer werdendem $\frac{h}{r_a}$ und steigender Ordnungszahl wird das Verhältnis aber kleiner, und schließlich ist für $\frac{h}{r_a} = 1$ und für alle Ordnungen keine Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von der Länge mehr vorhanden. Beim Vollzylinder Nr. 15 wurden für alle gemessenen Längen, abgesehen von kleinen Streuungen durch Meßfehler und Ungleichmäßigkeiten des Materials, die gleichen Frequenzen gemessen. Eine Erklärung für diese Abweichung von der exakten Theorie kann nicht gegeben werden.

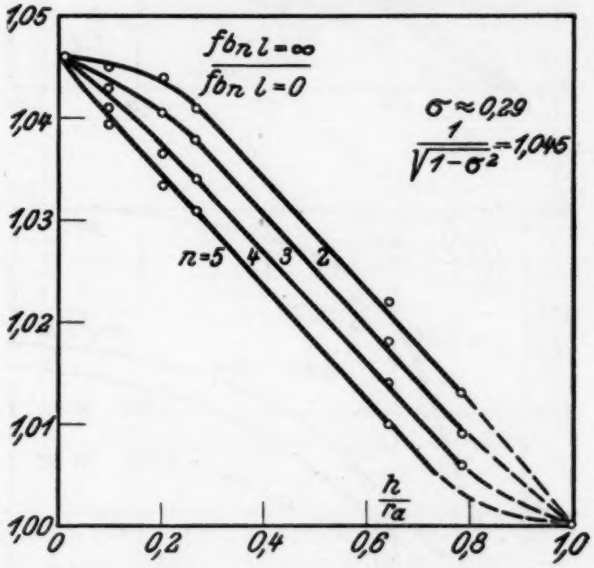


Abb .14. Verhältnis der Frequenzen der Biegeschwingungen in der Ringebene bei unendlicher Länge und bei der Länge Null in Abhängigkeit von h/r_a für verschiedene Ordnungen

d) Vergleich der Eigenfrequenzmessungen mit der Theorie

An der Kreisscheibe Nr. 4, die so dünn war, daß keine Längenkorrektur der Meßwerte notwendig war, wurden acht Ordnungen der Biegeschwingungen in der Ringebene bei fehlender Bohrung und bei 15 verschiedenen Bohrungen gemessen, ebenso am Ring Nr. 6. Für die Ringe Nr. 1, 2 und 3 wurden die beiden untersten Ordnungen gemessen. Die Werte dieser vier Ringe mit $l = h$ bzw. $l = \text{const.}$ wurden entsprechend den Kurven der Abb. 10—13 auf $l = 0$ umgerechnet. Die Korrektur überschritt in keinem Fall $3\,^0/_{00}$.

In Tab. 11 und 12 und Abb. 15 sind die Meßwerte für die Eigenfrequenzen der Kreisscheibe Nr. 4 für konstanten Außenradius eingetragen. Je höher die Ordnung der Schwingung ist, um so kleiner ist die Wandstärke, von der ab die Eigenfrequenz bei weiterer Vergrößerung konstant bleibt. Oben wurde schon erwähnt, daß diese Tatsache dadurch zu erklären ist, daß die Verschiebungen bei hohen Ordnungen nur wenig vom Umfang aus in das Innere des Ringes oder der Scheibe eindringen.

Tabelle 11

Nr. 4 $r_a = 45{,}00$ mm. $l = 4{,}0$ mm
$c = 5145$; $\sigma = 0{,}29$

$\frac{h}{r_i}$	$\frac{h}{r_a}$	$\sqrt{k}_{2\,\text{ber}}$ $l=0$	f_2 berechnet	f_2 gemessen	$\frac{f_{\text{ber}}-f_{\text{gem}}}{f_{\text{ber}}}$
—	—	—	kHz	kHz	$^0/_{00}$
0,1235	0,1093	2,667	1,723	1,723	± 0
0,191	0,1593	2,645	2,633	2,630	+ 1
0,3	0,2308	2,599	4,027	4,040	— 3
0,5	0,3333	2,508	6,320	6,305	+ 2,5
0,63	0,3865	2,446	7,635	7,635	± 0
1	0,5	2,284	10,670	10,715	— 4
1,2	0,5455	2,212	12,000	12,070	— 6
1,514	0,6020	2,125	13,680	13,785	— 7,5
1,7	0,6295	2,075	14,63	14,77	— 10
2	0,6667	2,017	15,91	16,04	— 8
2,6	0,7220	1,923	17,88	18,20	— 18
3,5	0,7780	1,821	19,93	20,55	— 31
5	0,8330	1,705	21,95	22,80	— 43
8	0,8890	1,572	23,80	24,85	— 43
17	0,9445	1,417	25,24	26,40	— 46
∞	1	1,244	26,15	27,40	— 48

In Abb. 16 ist nach den Messungen an fünf Ringen das Verhältnis der gemessenen zu den berechneten Werten von $\sqrt{k_2}$ für $l \to 0$ über $\frac{h}{r_a}$ aufgetragen. Die größten Abweichungen von der durch die Meßpunkte gelegten Kurve be-

Tabelle 12

Nr. 4 $r_a = 45{,}00$ mm; $l = 4{,}0$ mm; $c = 5145$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$; für $h/r_a = 0$ theoretische Werte

$\frac{h}{r_a}$	f_{b_3}	$\sqrt{k_3}$	f_{b_4}	$\sqrt{k_4}$	f_{b_5}	$\sqrt{k_5}$	f_{b_6}	$\sqrt{k_6}$	f_{b_7}	$\sqrt{k_7}$	f_{b_8}	$\sqrt{k_8}$
—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—
0	—	7,585	—	14,56	—	23,54	—	34,54	—	47,53	—	62,52
0,1093	4,820	7,460	9,170	14,18	14,535	22,48	20,85	32,25	27,40	42,40	36,00	55,70
0,1593	7,295	7,330	13,59	13,65	21,15	21,25	29,80	29,93	39,25	39,08	49,65	49,90
0,2308	10,94	7,070	19,73	12,76	30,00	19,41	41,00	26,53	52,80	34,15	65,20	42,18
0,3333	16,355	6,503	28,30	11,25	41,17	16,37	54,70	21,74	68,40	27,20	82,00	32,60
0,3865	19,060	6,105	32,15	10,29	46,05	14,75	60,40	19,35	74,20	23,76	88,00	28,18
0,4420	22,15	5,780	36,70	9,58	51,55	13,46	66,25	17,29	80,35	20,98	92,80	24,23
0,5	25,40	5,435	41,00	8,775	56,45	12,08	70,95	15,18	84,15	18,02	96,80	20,71
0,5455	28,65	5,285	44,75	8,250	60,20	11,11	73,90	13,63	86,30	15,73	97,95	18,07
0,6020	32,10	4,830	47,75	7,420	62,65	9,730	75,40	11,71	87,15	13,53	98,40	15,27
0,6295	32,80	4,650	49,40	7,010	63,95	9,070	75,75	10,74	87,25	12,37	98,50	13,97
0,6667	34,65	4,405	50,90	6,470	64,35	8,180	76,00	9,66	87,30	11,09	98,55	12,52
0,7220	37,35	4,015	52,65	5,680	64,95	6,990	76,20	8,195	87,30	9,385	98,55	10,59
0,7780	39,40	3,605	53,30	4,870	65,05	5,945	76,25	6,965	87,30	7,980	98,55	9,00
0,8330	40,50	3,145	53,60	4,160	65,10	5,055	76,25	5,920	87,30	6,775	98,55	7,650
0,8890	41,00	2,710	53,65	3,548	65,10	4,305	76,25	5,040	87,30	5,770	98,55	6,510
0,9445	41,10	2,305	53,65	3,012	65,10	3,655	76,25	4,280	87,30	4,900	98,55	5,530
1	41,10	1,955	53,65	2,553	65,10	3,097	76,25	3,628	87,30	4,153	98,55	4,685

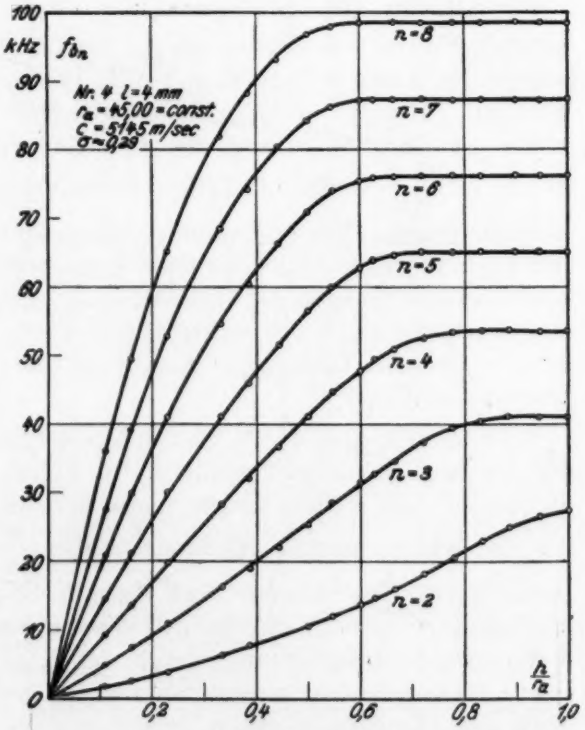


Abb. 15. Abhängigkeit der Frequenzen der Biegeschwingungen in der Ringebene von h/r_a bei konstantem Außenradius

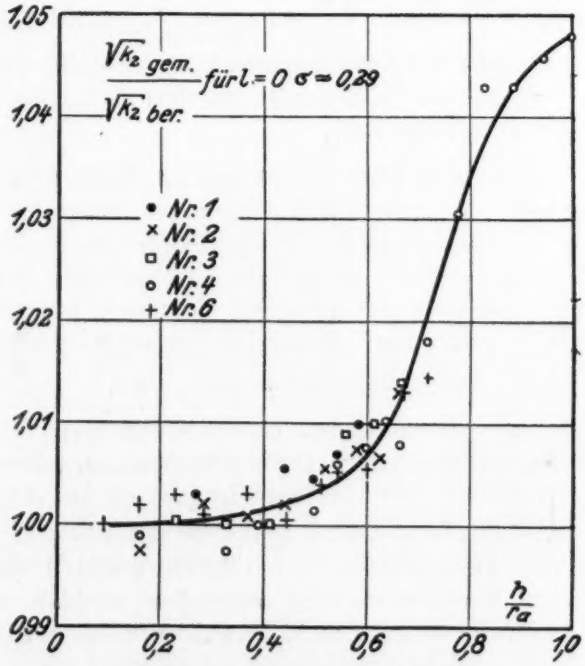


Abb. 16. Verhältnis der gemessenen und der nach FEDERHOFER berechneten Werte für den Koeffizienten der Frequenzgleichung der tiefsten Biegeschwingung in der Ringebene in Abhängigkeit von h/r_a

tragen $\pm 3^0/_{00}$. Es wurde also nicht nur eine Abweichung der Meßwerte von der Theorie festgestellt, sondern innerhalb einer Toleranz von $\leq \pm 2^0/_{00}$ ist auch der ganze Verlauf dieser Abweichung vom dünnwandigen Ring bis zur Kreisscheibe gesichert. Bis zu mittleren Werten von $\frac{h}{r_a}$ ist die Übereinstimmung von Theorie und Messung gut, für $\frac{h}{r_a} = 1$ ist der gemessene Wert 4,8% höher als der berechnete. Die gemessenen Mittelwerte von $\sqrt{k_2}$ sind in Tab. 10 und Abb. 9 zum Vergleich mit dem theoretischen Verlauf eingetragen. Nach der Kurve für $n = 2$ in Abb. 14 ist es nicht zulässig, den für $l = \infty$ exakt berechneten Wert von $\sqrt{k_2}$, wie dies im Einklang mit der Theorie getan wurde, für alle Werte von $\frac{h}{r_a}$ um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}}$ herabzusetzen, um $\sqrt{k_2}$ für $l = 0$ zu erhalten. Beim dünnwandigen Ring $\left(\frac{h}{r_a} \to 0\right)$ ist dies möglich, zwischen den Eigenfrequenzen einer Kreisscheibe und eines unendlich langen Vollzylinders besteht aber kein Unterschied. Es ist also erklärlich, daß man für $\frac{h}{r_a} = 1$ bei der Messung der Eigenfrequenz einen ungefähr um den gleichen Faktor größeren Wert als nach der Theorie bekommt.

Bei einem Rohr, das so lang ist, daß es praktisch die gleichen Eigenfrequenzen wie ein unendlich langes Rohr hat, konnte aus technischen Gründen nicht in so feinen Abstufungen die Wandstärke verändert und die exakte Theorie für $l = \infty$ durch Messungen nachgeprüft werden. Für einige Verhältnisse von $\frac{h}{r_a}$ wurde aber, wie schon erwähnt, der Unterschied der Eigenfrequenzen bei praktisch unendlich großer Rohrlänge von den Eigenfrequenzen bei sehr geringer Rohrlänge ($l \to 0$) gemessen (Abb. 14). Man kann also die bei $l \to 0$ gemessenen Werte des Koeffizienten $\sqrt{k_2}$ mit den Verhältniswerten von Abb. 14 multiplizieren und so, natürlich nicht mit so großer Genauigkeit wie bei $l \to 0$, die Größe von $\sqrt{k_2}$ für $l \to \infty$ erhalten. Man bekommt für die Grenzfälle $\frac{h}{r_a} = 0$ und $\frac{h}{r_a} = 1$ ungefähr den Faktor $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}} = 1{,}045$ für das Verhältnis $\frac{\sqrt{k_{2l=\infty}}}{\sqrt{k_{2l=0}}}$. Die größte Abweichung hiervon bei mittlerer Größe von $\frac{h}{r_a}$ beträgt 1%. Davon könnte noch die Hälfte auf eine Summieruug von Meßfehlern zurückzuführen sein. Beim Vollzylinder liegt der gemessene Wert um $3^0/_{00}$ über dem berechneten. Wegen der Verschiedenheit der Poissonschen Konstanten in Theorie und Messung muß auch ein Unterschied in diesem Sinne vorhanden sein.

Die zweidimensionale Theorie von Federhofer wird also, abgesehen von den genannten kleinen Einschränkungen, für den Fall $l = \infty$, für den sie bestimmt ist, durch die Messungen genau bestätigt. Der von der Theorie für alle Wandstärken geforderte Unterschied zwischen den Eigenfrequenzen bei $l = 0$ und $l = \infty$ ist nach den Messungen aber nur für dünnwandige Ringe bzw. Rohre vorhanden.

Die sich aus den Messungen für $l \to 0$ ergebenden Werte von $\sqrt{k_3}$ bis $\sqrt{k_8}$ für die Kreisscheibe Nr. 4 sind in Tab. 12 und Abb. 17 eingetragen, außerdem in Abb. 17 noch die Meßwerte von Ring Nr. 6 und die theoretischen Werte für $\frac{h}{r_a} = 0$, die mit den gemessenen gut übereinstimmen. Für dünnwandige Ringe sind die Eigenfrequenzen für hohe Ordnungen proportional dem Quadrat der Ordnungszahl. Aus den Messungen ergibt sich, daß sie bei der Kreisscheibe für hohe Ordnungen proportional der Ordnungszahl sind.

Bei einigen Ringen wurde bei den Versuchen der Innenradius konstant gehalten. Die Eigenfrequenzen eines solchen Ringes sind in Abb. 18 für die beiden untersten Ordnungen über $\frac{h}{r_a}$ aufgetragen. Die Kurven sind deshalb bemerkenswert, weil sie zeigen, daß die Eigenfrequenzen der Biegeschwingungen in der Ringebene bei konstantem Innenradius und Steigerung der Wandstücke zuerst größer werden, dann aber nach Erreichen eines Maximums wieder abnehmen. Da die Eigenfrequenzen proportional der Wandstärke, aber umgekehrt

proportional dem Quadrat des mittleren Radius sind, überwiegt nämlich bei der Steigerung der Wandstärke der letzte Einfluß schließlich. Bei konstantem Innenradius kann $\frac{h}{r_a}$ nur Eins werden für $r_a = \infty$, d. h. für $\frac{h}{r_a} = 1$ gehen die

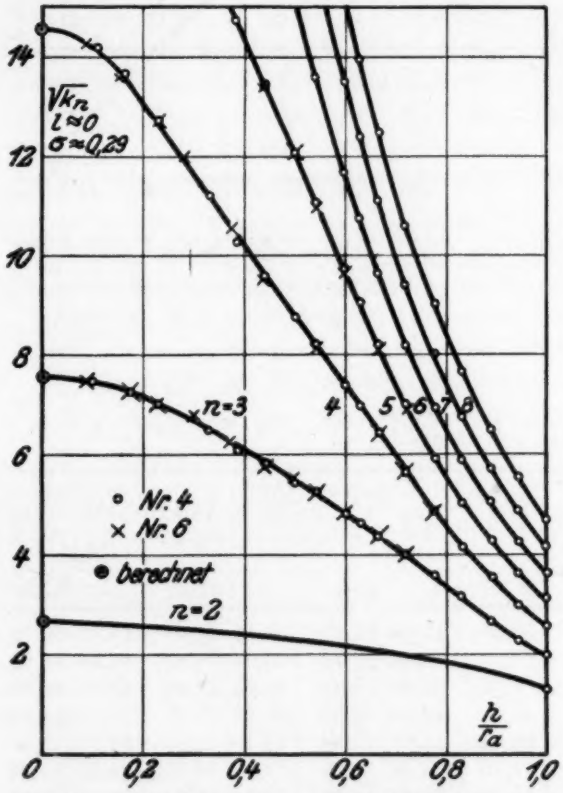


Abb. 17. Koeffizient der Frequenzgleichung der Biegeschwingungen in der Ringebene in Abhängigkeit von h/r_a für sieben Ordnungen (für $n = 2$ Mittelwerte von fünf Ringen)

Eigenfrequenzen nach Null. Der gestrichelte Verlauf von f_{b_1} über die Meßwerte hinaus ist berechnet. Nur die Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene verhalten sich ebenso. Die Frequenzen aller anderen Eigenschwingungsarten werden bei konstantem Innenradius mit wachsender Wandstärke immer kleiner als bei $\frac{h}{r_a} = 0$.

Bisher waren keine Messungen für die Biegeschwingungen von Kreisringen veröffentlicht. GIEBE und SCHEIBE[56]) geben nur an, daß sie nach Anwendung einer empirischen Korrekturformel bei dünnwandigen Ringen Übereinstimmung mit der damals allein bekannten, einfachen Theorie fanden[57]).

[56]) S. Anm. 8.

5. Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene

Für die Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene, deren Schwingungsform für die unterste Ordnung schematisch in Abb. 2g dar-

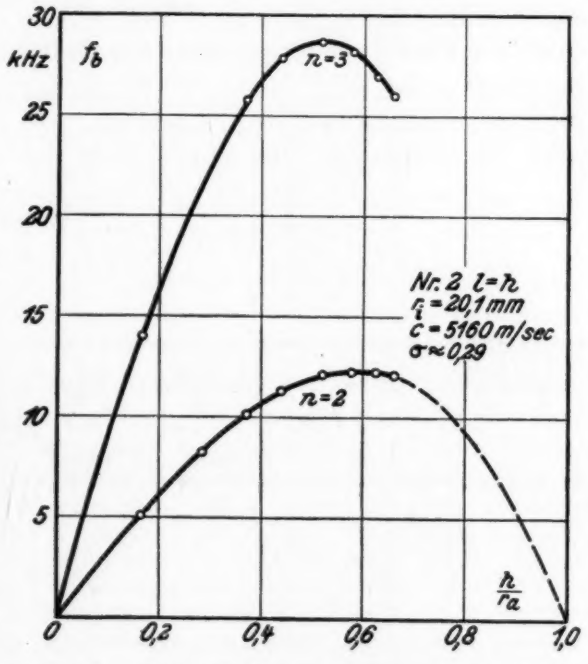


Abb. 18. Abhängigkeit der Frequenzen der tiefsten Biegeschwingungen in der Ringebene von h/r_a bei konstantem Innenradius

gestellt ist, besteht nur eine für den dünnwandigen Ring gültige Frequenzgleichung. Sie

[57]) NY und CHUNG (s. Anm. 11) haben an dickwandigen Quarzzylindern fünf Ordnungen der Biegeschwingungen in der Ringebene gemessen und angeblich gute Übereinstimmung mit den theoretischen Werten nach der einfachsten Theorie gefunden. Die Abweichungen sind kleiner als $\pm$ 9%, aber das auch in den Fällen, in denen die Werte nach der einfachen Theorie bis zu 7,5mal größer sind als die genauen. Selbst die Annahme, daß sie dreidimensionale Biegeschwingungen der gleichen Ordnung in der Nähe der von ihnen berechneten Frequenzen für die gesuchten zweidimensionalen gehalten haben, kann diese sehr großen Fehler nicht erklären.

wurde von MICHELL[58])[59]) aufgestellt. Sie lautet für allgemeine Querschnitte

$$(16) \qquad f_{b_{II\,n}} = \frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1+\sigma}} \frac{1}{2\pi r_m^2} \sqrt{\frac{J_2}{q}} \sqrt{\frac{E}{\varrho}}$$

bzw. für den quadratischen Querschnitt

$$(16a) \qquad f_{b_{II\,n}} = \frac{1}{4\pi\sqrt{3}} \frac{n(n^2-1)}{\sqrt{n^2+1+\sigma}} \frac{h}{r_m^2} \sqrt{\frac{E}{\varrho}}.$$

J_2 ist das Trägheitsmoment um die Querschnittsachse in der Ringebene, q die Querschnittsfläche. Für den quadratischen Querschnitt unterscheidet sich die Gleichung nur durch den Faktor σ unter der Wurzel im Zähler des Koeffizienten $\sqrt{k_{II}}$ von der Gleichung der Biegeschwingungen in der Ringebene. Je höher die Ordnung ist, um so kleiner ist der Frequenzunterschied der beiden Biegeschwingungsarten bei gleicher Ordnungszahl. Die gemessenen Werte in Abb. 19 zeigen für die unterste Ordnung, daß dieser Unterschied mit wachsender Wandstärke viel größer wird, daß also die Verkleinerung des Koeffizienten $\sqrt{k_{II}}$ mit größer werdendem Wert von $\frac{h}{r_a}$ noch stärker ist als bei den Schwingungen in der Ringebene.

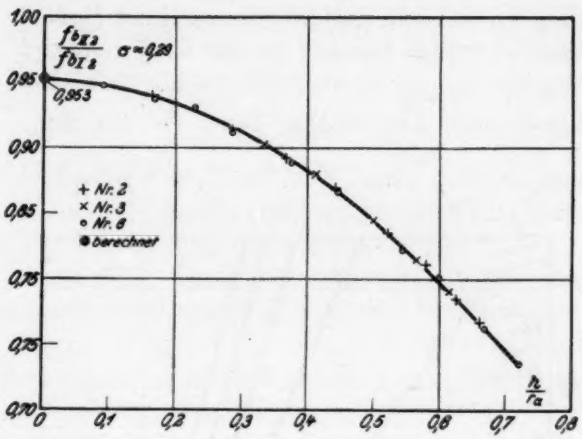


Abb. 19. Verhältnis der Frequenz der tiefsten Biegeschwingung senkrecht zur Ringebene zu der Frequenz der tiefsten in der Ringebene in Abhängigkeit von h/r_a

Tabelle 13

Nr. 6 $r_a = 45{,}00$ mm; $l = h$
$c = 5170$ m/sec; $\sigma \approx 0{,}29$
für $h/r_a = 0$ theoretische Werte

$\frac{h}{r_a}$	$f_{b_{II2}}$	$\sqrt{k_{II2}}$	$f_{b_{II3}}$	$\sqrt{k_{II3}}$	$f_{b_{II4}}$	$\sqrt{k_{II4}}$	$f_{b_{II5}}$	$\sqrt{k_{II5}}$	$f_{b_{II6}}$	$\sqrt{k_{II6}}$	$f_{b_{II7}}$	$\sqrt{k_{II7}}$	$f_{b_{II8}}$	$\sqrt{k_{II8}}$
—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—	kHz	—
0	—	2,620	—	7,480	—	14,44	—	23,40	—	34,40	—	47,40	—	62,40
0,0894	1,318	2,345	3,800	7,335	7,290	14,08	11,71	22,60	17,00	32,83	23,00	44,40	29,40	56,75
0,1662	2,605	2,498	7,33	7,030	13,75	13,18	21,45	20,57	30,40	29,15	40,05	38,40	50,45	48,35
0,2307	3,790	2,440	10,38	6,680	18,10	12,17	28,85	18,57	39,60	25,49	51,05	32,85	62,80	40,40
0,2837	4,81	2,362	12,90	6,332	23,00	11,29	34,10	16,74	45,90	22,53	58,25	28,60	70,55	34,65
0,3752	6,62	2,206	16,79	5,595	28,70	9,570	41,20	13,74	53,95	17,98	66,10	22,04	79,20	26,40
0,4444	8,00	2,062	19,60	5,050	32,20	8,300	45,40	11,70	58,50	15,08	71,25	18,36	83,55	21,53
0,5	9,11	1,940	21,60	4,600	34,95	7,440	48,00	10,23	60,90	12,98	73,65	15,69	85,65	18,25
0,545	10,00	1,835	23,10	4,230	36,70	6,735	49,90	9,16	62,65	11,50	75,10	13,78	—	—
0,6	11,13	1,720	24,90	3,850	38,60	5,970	51,75	8,00	64,35	9,945	76,60	11,83	—	—
0,667	12,39	1,567	26,65	3,370	40,35	5,100	53,30	6,740	65,65	8,300	79,45	10,04	—	—
0,722	13,485	1,443	28,10	3,007	41,60	4,450	54,50	5,830	67,80	7,270	81,75	8,745	—	—

In Tab. 13 und Abb. 20 sind die Werte von $\sqrt{k_{II_n}}$ für $n = 2$ bis $n = 8$ nach den Messungen an dem Ring Nr. 6 eingetragen. Abb. 20 zeigt, daß die theoretischen Werte nach Gl. (16a) für $\frac{h}{r_a} \to 0$ gut mit den Messungen übereinstimmen.

Bisher wurde nur von HORT und KÖNIG[60]) für eine Biegeschwingung senkrecht zur Ringebene eines Ringes mit Rechteckquerschnitt

[58]) S. Anm. 47.

[59]) S. a. A. E. H. LOVE, Lehrb. d. Elast., Leipz. 1907, S. 519.

[60]) W. HORT und M. KÖNIG, Z. techn. Phys. 9 (1928), S. 373.

ein Meßwert angegeben, der mit dem Wert nach Gl. (16) auf 3% übereinstimmt.

Zusammenfassung

Zunächst wird die magnetische Anregung von Schwingungen von Stahlringen und die direkte oder indirekte Abtastung mittels eines Tonabnehmers beschrieben. Die obere Frequenzgrenze beträgt 100 kHz. Die Fehlermöglichkeiten werden besprochen und die absolute Meßgenauigkeit mit $\leq \pm 2‰$ angegeben.

Für jede einzelne der fünf bei einem Kreisring bekannten Eigenschwingungsarten, die sich vom dünnwandigen Ring bis zur Kreisscheibe verfolgen lassen, werden die Schwingungsform und die bestehenden Theorien angegeben. Die Theorien werden im Bereich ihrer Gültigkeit mit den Messungen verglichen.

Die Meßwerte für die radiale Dehnungsschwingung stimmen in den beiden angeführten Beispielen vom dünnwandigen Ring bis zur Kreisscheibe innerhalb der Meßgenauigkeit mit der exakten Theorie überein.

Für die Umfangsschwingungen (Lovesche Längsschwingungen) wird die Schwingungsform beim Übergang vom Ring mit kleiner Wandstärke zur Kreisscheibe beschrieben. Im Zusammenhang damit wird auf eine bisher unbekannte Eigenschwingungsart von Kreisscheiben und Kreisscheiben mit Bohrung hingewiesen, nämlich Drillungsschwingungen in der Scheibenebene mit Knotenkreisen und Knotendurchmessern. Die Frequenzen von vier Ordnungen der Ringumfangsschwingungen werden vom dünnwandigen Ring bis zur Kreisscheibe angegeben. Sie stimmen für den dünnwandigen Ring sehr gut mit der einfachen Theorie überein.

Für Drillungsschwingungen von Kreisringen besteht für den quadratischen Ringquerschnitt keine Theorie. Es werden die Meßwerte von fünf Ordnungen bis annähernd zur vollen Kreisscheibe angeführt.

Für die Biegeschwingungen in der Ringebene werden die verschiedenen Theorien besprochen. Die theoretisch nicht erfaßbare Abhängigkeit der Eigenfrequenzen von der axialen Abmessung wurde bei Ringen bzw. Rohren sehr verschiedener Länge gemessen. Der von der Theorie geforderte Unterschied der Eigenfrequenzen bei $l = 0$ und $l = \infty$ von etwa 4,5% wurde nur bei Rohren mit geringer Wandstärke gefunden. Die Meßwerte für die Frequenz der Grundschwingung stehen für $l \to \infty$ mit sehr kleinen Einschränkungen mit der zweidimensionalen, exakten Theorie, zu der bisher noch keine Messungen vorlagen, in Übereinstimmung. Für den in axialer Richtung dünnen Ring ($l \to 0$) ergibt sich beim Übergang zur Kreisscheibe ebenso wie bei der Längenabhängigkeit der Eigenfrequenzen eine größte Abweichung von der Theorie um den Faktor $\frac{1}{\sqrt{1-\sigma^2}} = 1{,}045$. Für sechs höhere Ordnungen können die Messungen nur beim dünnwandigen Ring mit der einfachen Theorie verglichen werden, die bestätigt wird. Es wird außerdem auf eine bisher nicht bekannte Eigenschwingungsart von Rohren und Vollzylindern hingewiesen, nämlich Biegeschwingungen mit $n \leq 2$ Knotendurchmessern und $m \leq 1$ Knotenkreisen auf der Zylinderlänge.

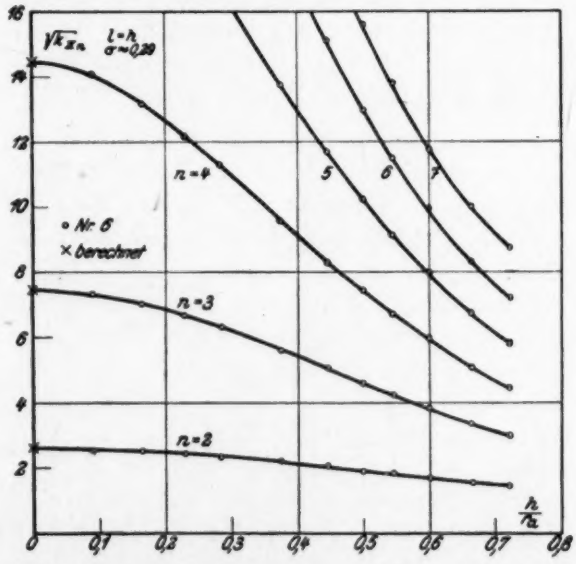


Abb. 20. Koeffizient der Frequenzgleichung der Biegeschwingungen senkrecht zur Ringebene in Abhängigkeit von h/r_a für quadratischen Ringquerschnitt und sechs Ordnungen

Von den Biegeschwingungen senkrecht zu der Ringebene wurden bei quadratischem Ringquerschnitt sieben Ordnungen bis annähernd zur Kreisscheibe gemessen. Frequenzmessungen und einfache Theorie stimmen für den dünnwandigen Ring genau überein.

Herrn Prof. Dr. E. MEYER danke ich vielmals für das fördernde Interesse an der vorliegenden Arbeit, sowie ihm und Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. K. KLOTTER für wertvolle Ratschläge zu ihrer Veröffentlichung.

(Eingegangen am 7. Februar 1942.)

Die Schalldämmung von Wänden gegenüber Sprache und Musik

Von Josef Capek

Reichsrundfunkgesellschaft

(Mit 6 Textabbildungen)

Die schalldämmende Wirkung einer Wand wird bekanntlich durch die Angabe der Schalldämmung

$$(1) \qquad D = 10 \log \frac{E_1}{E_2} + 10 \log \frac{F}{A} \text{ (db)}$$

gekennzeichnet, wobei E_1 und E_2 die Energiedichte vor, bzw. hinter der Wand, F die Größe der Prüffläche und A die Gesamtschluckung des Empfangsraumes ist. Trägt man D als Funktion der Frequenz auf, so erhält man die Schalldämmkurve. Dem in der Praxis vorliegenden Bedürfnis nach Kennzeichnung der Schalldämmung durch möglichst wenige Zahlenangaben wird dadurch Rechnung getragen, daß man den planimetrischen Mittelwert der Schalldämmkurve über dem logarithmisch aufgetragenen Frequenzbereich von 100 bis 3000 Hz bildet, der als „mittlere Schalldämmung D" bezeichnet wird. Um den Frequenzgang der Schalldämmung annähernd festzulegen, gibt man nötigenfalls auch noch die analog gebildeten Mittelwerte über die Bereiche von 100 bis 550 Hz und 550 bis 3000 Hz an[1]).

Es war von jeher klar, daß man in diesen Angaben nur relative Vergleichszahlen zu erblicken hat, die keinen unmittelbaren Schluß auf die Lautstärke zulassen, die bei einem bestimmten Störschall hinter der Wand zu erwarten ist, da diese Lautstärke außer von den Eigenschaften der Wand noch durch den amplitudenabhängigen Frequenzverlauf der Ohrempfindlichkeit von der Stärke und von dem Frequenzspektrum des Störschalles wesentlich abhängt.

Der erste Versuch, diese Einflüsse wenigstens teilweise zu berücksichtigen, wurde von BAUSCH unternommen[2]). Er besteht darin, daß die einzelnen Dämmwerte an Hand der Kurven gleicher Lautstärke eine verschiedene Bewertung erfahren und so eine Umrechnung der gemessenen db-Werte in phon erfolgt.

Einen anderen Weg ging MORRICAL[3]), der bestimmte mittlere Frequenzspektren für Musik und Sprache annimmt und in das Feld der Kurven gleicher Lautstärke einzeichnet. Die Ordinatendifferenzen ergeben die „idealen Dämmkurven", d. h. jenen Dämmverlauf, der jede Frequenzkomponente der Musik bzw. Sprache gerade auf eine bestimmte Lautstärke herabsetzt. In eine Schar solcher idealer Dämmkurven (mit der Lautstärke als Parameter) zeichnet MORRICAL nun die zu beurteilende Dämmkurve ein und stellt so ihre Abweichungen gegen die idealen Kurven fest. Es wird jene ideale Dämmkurve größter Lautstärke ermittelt, welche die gegebene Dämmkurve eben noch berührt. Der Punkt, wo diese Berührung erfolgt, ist der „schwächste Punkt" der Wand. MORRICAL empfiehlt diesen Punkt

[1]) DIN 4110.

[2]) W. BAUSCH, Gesundh.-Ing. 59 (1936), S. 757.

[3]) K. C. MORRICAL, J. acoust. Soc. Amer. Vol. 11 (1939), S. 211.

zur Kennzeichnung der Wand, also die am wenigsten gedämpfte Frequenz und die zugehörige Lautstärke, anzugeben.

Aus ähnlichen Überlegungen kommt Ross[4]) zu dem Vorschlag, die „minimale Lautstärkereduktion" und die zugehörige Frequenz anzugeben.

Die eben kurz dargestellten Vorschläge berücksichtigen also wohl einen oder mehrere der für die praktische Wirkung der Wand maßgebenden Einflüsse, erlauben aber keine Ermittlung der praktisch am meisten interessierenden Störlautstärke, die bei einem gegebenen Störschall hinter der Wand auftritt. Um diese Lautstärke zu ermitteln, wäre aus dem gegebenen Störschallspektrum zunächst unter Berücksichtigung der nach der üblichen Methode aufgenommenen Dämmkurve das Spektrum hinter der Wand zu ermitteln und dann aus diesem die Lautstärke zu bestimmen[5]). Diese Lautstärke hinter der Wand, abgezogen von der Lautstärke, die vor der Wand herrscht, gibt eine Zahl, die als einzige Angabe die Lautstärkedämmwirkung der Wand in phon für den betreffenden Störschall anzugeben gestattet.

Naturgemäß kann für Sprache und Musik nur ein mittleres Spektrum festgelegt werden, da es sich ja um ständig wechselnde Werte handelt. Auch diese Mittelwerte werden noch von der Zahl der Musiker, der Instrumentierung und Art des gespielten Stückes usw. abhängig sein, bzw. bei Sprache von der Stimmlage und persönlichen Eigenart des Sprechers.

Dementsprechend werden auch die nach dem geschilderten Verfahren ermittelten Lautstärkereduktionszahlen, die im folgenden kurz als „Musikdämmung" bzw. „Sprachdämmung" bezeichnet werden, Mittelwerte darstellen. Trotzdem kann erwartet werden, daß sie ein entsprechendes Bild von der praktischen Wirksamkeit einer Wand vermitteln. Die nachstehend verwendeten und in Abb. 1 dargestellten mittleren Energiespektren von Musik und Sprache sind den Messungen von Sivian, Dunn und Withe[6]) entnommen. Das Musikspektrum entspricht einem Orchester von 75 Mann und ist auf Ordinatenwerte von db je Hz umgerechnet. Die aus dem Spektrum nach der weiter unten beschriebenen Methode errechnete Lautstärke beträgt 103 phon. Das Spektrum für Sprache[7]) enthält jene Spitzenwerte, die in 80 % der Einzelmessungen nicht überschritten wurden und bezieht sich auf 30 cm Abstand vom Munde des Sprechenden. Es entspricht einer Lautstärke von 81 phon.

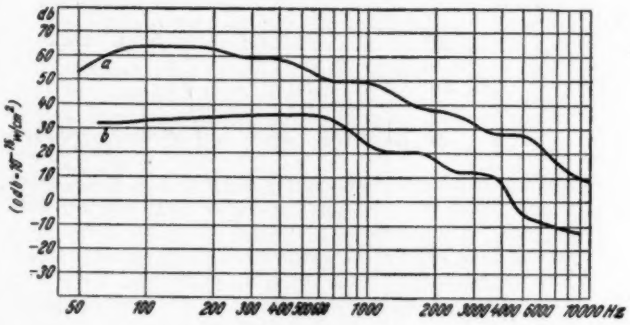


Abb. 1

Diese Spektren, vermindert um die Schalldämmungswerte gemäß Gleichung 1 ergeben die Energieverteilungen hinter der Wand, bezogen auf einen Empfangsraum, für den die Gesamtschluckung A gleich der Wandfläche F ist. Wenn die Rechnung für einen gegebenen Empfangsraum durchgeführt werden soll, so kann dieser Raum durch das Korrekturglied von (1) berücksichtigt werden. Man erhält also 2 neue Spektren, deren Ordinate mit B bezeichnet werden soll.

Für die Aufgabe, aus einem gegebenen Energiespektrum die Lautstärke zu ermitteln, hat H. Fletcher[8]) eine Lösung angegeben. Hier soll nur eine summarische Darstellung des Rechnungsvorganges gebracht werden, für seine Herleitung und Begründung sei auf die Originalarbeit[8]) verwiesen.

---

[4]) I. G. Ross, J. acoust. Soc. Amer. Vol. 3 (1932), S. 313.

[5]) v. Braunmühl und Weber, „Angewandte Akustik", Leipzig 1936.

[6]) L. J. Sivian, H. K. Dunn and S. D. Withe, J. acoust. Soc. Amer. Vol. 2 (1931), S. 330.

[7]) H. K. Dunn and S. D. Withe, J. acoust. Soc. Amer. Vol. 11 (1940), S. 278.

[8]) H. Fletcher, J. acoust. Soc. Amer. Vol. 9 (1938), S. 175.

Aus der Kurve Abb. 2 entnimmt man punktweise für die einzelnen Frequenzen die Ordinatenwerte $S - B$ und bekommt aus diesen durch Addition der dem Energiespektrum entnommenen Werte B (db je Hz) für jede Frequenz einen Wert S (Erregung je Nervenbündel, ausgedrückt in db über der Reizschwelle), den wir jedoch nur als Zwischenwert brauchen, um aus Abb. 3 den zugehörigen Wert N_x (Lautheit je Nervenbündel) zu finden.

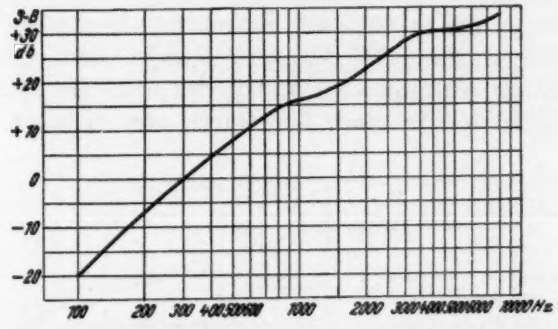


Abb. 2. Frequenzabhängigkeit der auf 1% der Gehörnerven (willkürlich gleich 1 Nervenbündel gesetzt) entfallenden Erregungsenergie, wenn das Ohr einem Geräusch ausgesetzt wird, welches ein kontinuierliches und gleichmäßiges Spektrum mit 0 db je Hz hat. Bei einem davon abweichenden Spektrum kann für jede Frequenz daraus die Erregungsenergie durch Addition der Energiewerte des Spektrums (db je Hz) gefunden werden

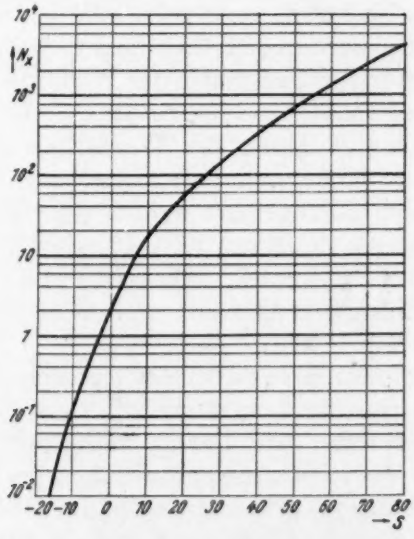


Abb. 3. Lautheit in Abhängigkeit von der Erregungsenergie (beide Koordinatenwerte bezogen auf 1% der Gehörnerven)

(Nervenbündel bedeutet hier nur eine willkürliche Bezeichnung für 1% der gesamten Gehörnerven.) Weiter gehört zu jeder Frequenz ein Wert x (%), den man Abb. 4 entnehmen kann. Die zusammengehörigen Werte von N_x (als Ordinate) und x (als Abzisse) trägt man nun in ein Koordinatensystem (mit linear geteilten Koordinaten) ein und bestimmt mittels Planimeter oder nach einem der sonst üblichen Verfahren die Fläche zwischen dem erhaltenen Linienzug und der Abzissenachse, also das Integral

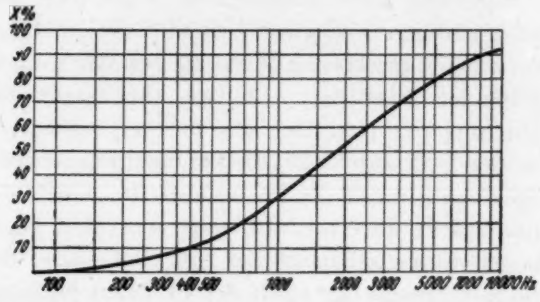


Abb. 4. x in Abhängigkeit von der Frequenz f. x ist jener Prozentsatz der gesamten Gehörnerven, die (der Reihe nach) erregt werden, wenn das Ohr einem Ton ausgesetzt wird, der von der tiefsten hörbaren Frequenz bis zur Frequenz f stetig erhöht wird. Für die oberste Hörbarkeitsgrenze ist demnach $x = 100$. Legt man die „Einortstheorie" des Hörens zugrunde, so stellt x die zur Frequenz f gehörige Ortskoordinate auf der Basilarmembran dar

$$(2) \qquad \int_{x=0}^{x=100} N_x \, dx = L \,,$$

wobei die Kurve durch hinreichend viele Punkte bestimmt sein muß. Mit L geht man schließlich in die Kurve der Abb. 5, welche die bekannte „Lautheitsfunktion" darstellt und findet dort die zugeordnete Lautstärke in phon, die dem vorgegebenen Spektrum entspricht. Zieht man die so gefundene Lautstärke hinter der Wand von 103 phon bzw. von 81 phon ab, so erhält man die oben definierte „Musikdämmung" bzw. die „Sprachdämmung".

Um festzustellen, welche Abweichungen sich bei der beschriebenen Art der Auswertung der Schalldämmkurven gegenüber der üblichen Mittelwertbildung ergeben, wurde die Rechnung für drei verschiedene Dämmkurven durchgeführt, welche dieselbe mittlere Dämmung von

37 db aufweisen, aber einen verschiedenen Frequenzverlauf haben, sowie für eine weitere Wand mit der halben mittleren Schalldämmung von 18,5 db (siehe Abb. 6 und Tabelle).

Tabelle

	Wand *A*	Wand *B*	Wand *C*	Wand *D*
Mittlere Dämmung phon	37	37	37	18,5
Sprachdämmung phon	54	55	50	27
Musikdämmung phon	41	46	43	23

Man erkennt zunächst, daß die Sprachdämmung in allen 4 Fällen höher liegt als die Musikdämmung. Ferner liegen beide Zahlenwerte höher als jener der mittleren Schalldämmung, d. h. die mit dem Ohr feststellbare Dämmwirkung in phon ist größer als der Wert der mittleren Schalldämmung in db angibt. Von den Wänden *A*, *B*, *C* hat *A* die niedrigste Musikdämmung und *B* die höchste, während *C* in der Mitte liegt. Für Sprache hat gleichfalls *B* den höchsten Wert, dann folgt mit nur 1 phon Unterschied die Wand *A* und an letzter Stelle *C*. Der größte Unterschied beträgt 5 phon, d. h. bei einer mit der Frequenz ansteigenden Schalldämmung, wie sie in der Praxis nahezu immer

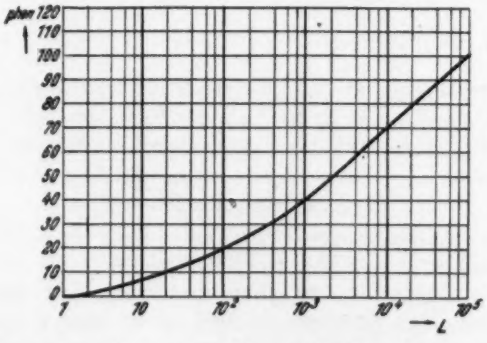


Abb. 5. Beziehung zwischen „Lautheit" und „Lautstärke" (phon)

vorliegt, sind die Unterschiede so gering, daß die Angabe der mittleren Schalldämmung praktisch ausreicht, um die Dämmwirkung einer Wand gegenüber Musik und Sprache zu kennzeichnen, insbesondere, wenn man sich an Hand der weiteren Mittelwerte von 100 bis 550 und von 550 bis 3000 Hz auch ein ungefähres Bild vom Frequenzverlauf machen kann.

Das Beispiel der Wand *D*, welche gegenüber *A*, *B* und *C* die halbe mittlere Schalldämmung aufweist und auch ziemlich genau die halben Werte für die Sprachdämmung bzw. Musikdämmung, zeigt, daß die mittlere Schalldämmung auch für den Vergleich verschieden guter Wände untereinander eine die tatsächliche Dämmwirkung hinreichend genau kennzeichnende Vergleichszahl ist.

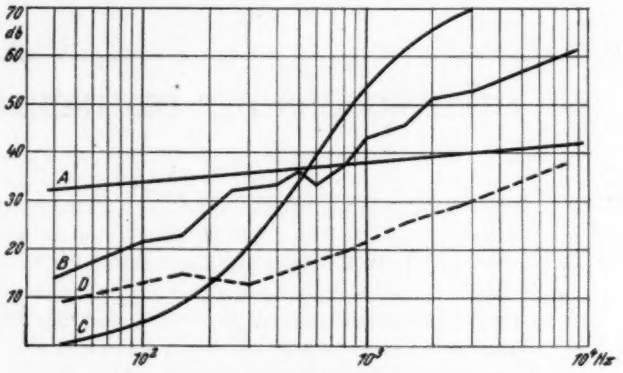


Abb. 6. Beispiele für Wände mit gleicher mittlerer Schalldämmung bei verschiedenem Frequenzverlauf der Dämmung (*A*, *B*, *C*) und eine Wand mit kleinerer mittlerer Schalldämmung (*D*)

Wenn aber dieses Ergebnis der Berechnung der Sprach- und Musikdämmung auch keinen Anlaß gibt, von der üblichen Kennzeichnung der Wände durch die mittlere Schalldämmung abzugehen, so wird es doch viele Fälle geben, in denen es sich empfehlen dürfte, die dargelegte Methode anzuwenden, um für ein bestimmtes, gegebenes Störgeräusch die Dämmwirkung vorauszuberechnen. Man muß dazu das Störspektrum nach einer der bekannten Methoden ermitteln und kann dann die Rechnung für verschiedene Wände durchführen, um jene Konstruktion zu bestimmen, welche, auf das Ohr bezogen, die maximale bzw. die gewünschte Dämmwirkung aufweist.

Zusammenfassung

Die übliche Kennzeichnung von Wänden durch die mittlere Dämmzahl erlaubt keinen unmittelbaren Schluß auf die für die Praxis allein wichtige Lautstärkeverminderung bei einem gegebenen Störlärm. Es wird ein Ver-

fahren angegeben, welches es bei vorliegendem Spektrum des Störschalles ermöglicht, die lautstärkereduzierende Wirkung einer Wand in phon anzugeben. Die für die mittleren Spektren von Sprache und Musik durchgeführte Rechnung zeigt, daß für diese Fälle die mittlere Schalldämmung praktisch ausreicht, um die effektive Wirksamkeit verschiedener Wände zu beurteilen. Die Methode wird mit Vorteil dort angewandt werden, wo die Schutzwirkung einer Wand gegen einen bestimmten Störschall möglichst genau vorausbestimmt werden soll.

(Eingegangen am 28. Januar 1942.)

MITTEILUNGEN DES DEUTSCHEN AKUSTISCHEN AUSSCHUSSES

Die nachstehend veröffentlichten Richtlinien für das Meßgerät für DIN-Lautstärken und die Festsetzung über den Normstimmton sind in der vorliegenden Form im April bzw. Mai 1942 als Normblätter erschienen und können durch die Beuth-Vertrieb-GmbH, Berlin SW 68, bezogen werden.

Nach grundsätzlicher Annahme der Festsetzungen über den Normstimmton durch den Deutschen Stimmtonausschuß am 7. Juni 1939 und der Richtlinien für das Meßgerät für DIN-Lautstärken durch den Deutschen Akustischen Ausschuß am 24. Februar 1942 wurde die endgültige Formulierung in einem Redaktionsausschuß mit den Herren VON BRAUNMÜHL, FRANK, JANOVSKY und GRÜTZMACHER am 20. Dezember 1941 festgelegt. Hier wurden alle Einsendungen auf frühere Entwürfe durchgesprochen und nach Möglichkeit berücksichtigt. Allen Einsendern sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit gedankt.

Mit dem Erscheinen der Normblätter sind alle früher veröffentlichten Entwürfe (s. Akust. Z. 5 (1940), S. 305) als ungültig anzusehen. GRÜTZMACHER

Meßgerät für DIN-Lautstärken DIN 5045

Richtlinien

Die Lautstärke ist nach DIN 1318 Einheit der Lautstärke durch subjektiven Vergleich mit einem Normalton zu messen. Lautstärkemesser, die die subjektive Messung durch eine Anzeige ersetzen, bilden die die Lautstärkeempfindung bestimmenden Eigenschaften des Ohres mehr oder weniger vollkommen nach. Insbesondere wird nur der Frequenzbereich von 30 bis 8000 Hz berücksichtigt, so daß derartige Geräte für die Messung von Geräuschen mit Komponenten außerhalb dieses Bereiches nicht geeignet sind, wenn solche Komponenten die Lautstärke wesentlich beeinflussen. Außerdem bildet das Gerät die Ohrkurven nur angenähert nach. Deshalb ist es erforderlich, die Wirkungsweise der Lautstärkemesser einheitlich festzulegen. Lautstärkemesser, die die folgenden Bedingungen erfüllen, werden als DIN-Lautstärkemesser, die mit ihnen gemessenen Lautstärken als DIN-Lautstärken bezeichnet.

1. Skale

Die Skale soll in Phon geeicht sein. Eine gleichmäßige Unterteilung der Skale in Phon soll angestrebt werden. Die angezeigten Werte sind auf einen Schalldruck von $2 \cdot 10^{-4}$ µb ($2 \cdot 10^{-4}$ dyn/cm²) für die Frequenz 1000 Hz entsprechend 0 phon zu beziehen.

2. Meßbereich

Der Gesamtmeßbereich kann in mehrere einzelne Meßbereiche aufgeteilt werden. Die Teilmeßbereiche sollen mindestens 20 phon umfassen. Die Überlappung der Meßbereiche soll mindestens 5 phon betragen. Werden in zwei anstoßenden Bereichen etwas verschiedene Werte angezeigt, so soll der größere gelten. Anzeigen des Gerätes sind nur gültig, wenn sie mindestens um 3 phon über einer von nichtakustischer Anregung herrührenden Anzeige liegen.

3. Bewertungskurven

Für den ganzen Lautstärkebereich werden 3 Bewertungskurven festgelegt (vgl. die Zahlentafel und die Kurven S. 158). Diese drei Kurven geben an, welche Unterschiede der Anzeigen im Frequenzbereich zwischen 30 und 8000 Hz gegenüber der

Anzeige bei 1000 Hz auftreten sollen, wenn der Schalldruck in der freien ebenen Welle am Mikrophonort bei allen Frequenzen gleich ist (vgl. 7). Auch die zulässigen Abweichungen der Anzeigenunterschiede sind in der Tafel und in dem Kurvenblatt angegeben. Außerhalb des Bereiches 30 bis 8000 Hz darf die auf gleichen Schalldruck bezogene Anzeige nicht über die Werte an den Grenzen steigen. Es ist anzustreben, daß die Bewertungskurven auch unterhalb 30 Hz mit etwa derselben Toleranz und Neigung bis 20 Hz weitergehen (vgl. die Kurven S. 158, gestrichelte Kurven zwischen 20 und 30 Hz). Eine Eichkurve bis 20 Hz ist beizugeben.

Hz	Anzeigenunterschied in db gegenüber der Anzeige bei 1000 Hz				
	Kurve 1 (60 bis 130 phon)	Kurve 2 (30 bis 60 phon)	Kurve 3 (unter 30 phon)	Zulässige Abweichung in db	
30	— 20	— 40	— 54	— 7	+ 4
60	— 10	— 27	— 40	— 3	+ 3
125	— 4	— 16	— 27	— 3	+ 3
250	— 2	— 8	— 15	— 3	+ 3
500	— 1	— 3	— 5	— 3	+ 3
1000	0	0	0	— 3	+ 3
2000	+ 1	+ 3	+ 3	— 3	+ 3
4000	+ 1	+ 2	+ 2	— 7	+ 4
8000	— 3	— 3	— 3	— 11	+ 6

In dem Lautstärkebereich von 60 bis 130 phon soll nur die Kurve 1 verwendet werden, zwischen 30 und 60 phon nur die Kurve 2 und unter 30 phon nur die Kurve 3. Die Kurven 1, 2 und 3 werden zwangsläufig den angegebenen DIN-Lautstärkebereichen zugeordnet. Fällt ein Teilmeßbereich (vgl. Absatz 2) in mehrere solche Zuordnungsbereiche, so soll diejenige Bewertungskurve gelten, in deren Gebiet der größte Teil des Meßbereiches liegt.

4. Additionsgesetz

Das Gerät soll die verschiedenen Komponenten eines Geräusches möglichst nach Leistung addieren, d. h. den Effektivwert bilden.

5. Dynamische Eigenschaften

Die Anzeige des Gerätes soll folgende Eigenschaften haben:

1. Das Überschwingen soll höchstens 1 db betragen.
2. Der Ausschlag für einen 1000 Hz-Impuls von einer Dauer von 200 bis 250 ms soll gleich dem Ausschlag für den 1000 Hz-Dauerton gleicher Amplitude sein.
3. Der Ausschlag für einen 1000 Hz-Impuls von einer Dauer von 100 ms soll mindestens 1 db geringer als der Ausschlag für einen 1000 Hz-Dauerton gleicher Amplitude sein.

Diese Eigenschaften sollen in jedem Teil der Skale vorhanden sein.

6. Richtkennlinien

Das Mikrophon soll ein Druckempfänger sein und im Betriebszustand des Lautstärkemessers möglichst keine Einfallsrichtung bevorzugen.

7. Eichung

Der DIN-Lautstärkemesser soll im Schallfeld einer ebenen fortschreitenden Welle geeicht werden, deren Schalldruck vor dem Einbringen des zu eichenden Gerätes eingestellt wird. Die absoluten Eichwerte bei der Frequenz 1000 Hz sollen auf $\pm$ 1 db mit der Eichung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt übereinstimmen.

Zur laufenden Überwachung soll dem Gerät eine auf $\pm$ 2 phon konstante Schallquelle beigegeben werden, mit der es möglich ist, die Anzeige des Gerätes einschließlich Mikrophon akustisch zu prüfen.

8. Sonstige Meßbedingungen

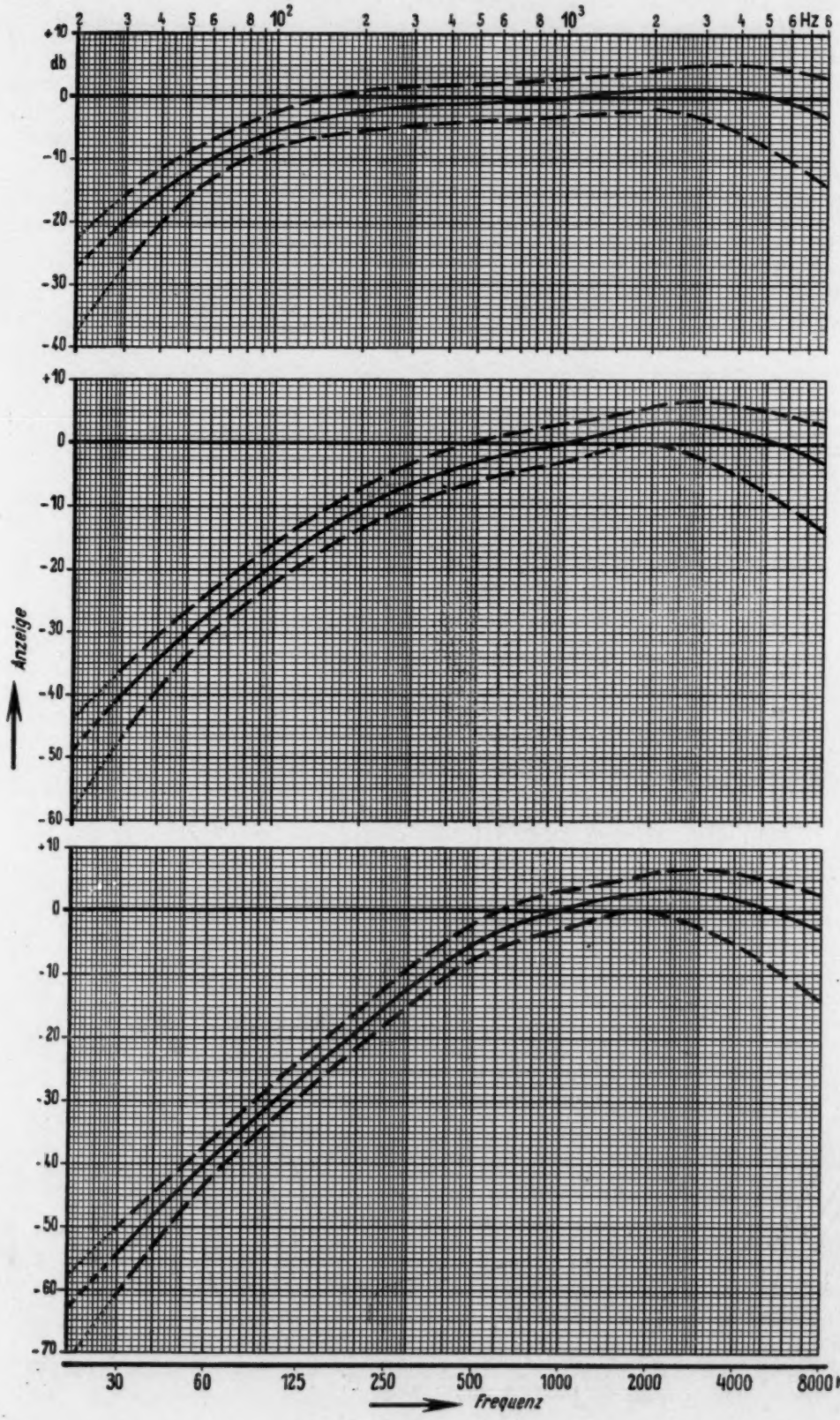
Mit den vorstehenden Richtlinien ist nur das Gerät genormt, das am Aufstellungsort seines Mikrophons DIN-Lautstärken mißt. Diese Lautstärke hängt u. a. von der Schallquelle und den räumlichen Bedingungen ab. Sollen daher z. B. zwei Schallquellen miteinander verglichen werden, so müssen die räumlichen Bedingungen berücksichtigt und bei der Mitteilung von Meßergebnissen angegeben werden.

Es empfiehlt sich, für einzelne Anwendungsgebiete diese Bedingungen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Akustischen Ausschuß einheitlich festzulegen.

Bemerkungen

Dieses Normblatt berücksichtigt die Beschlüsse der ersten Tagung des Zwischenstaatlichen Akustischen Ausschusses (ISA-Komitee 43) zu Paris im Juni 1937 und die Richtlinien der Osloer Tagung des CCIF im Juni 1938.

Die festgelegten Werte sind das Ergebnis zahlreicher Untersuchungen über die objektive Messung von Lautstärken. Sie sind so gewählt worden, daß die Meßwerte des Gerätes hinreichend genau mit subjektiv gemessenen Werten übereinstimmen, aber der technische Aufwand mit der angestrebten Genauigkeit in Einklang bleibt. Insbesondere ist bei Tongemischen großer Lautstärke und großer Frequenzbandbreite, also auch bei stark spitzenhaltigen Geräuschen, eine Abweichung im Sinne einer zu niedrigen Anzeige zu erwarten.



Kurve 1:
60 bis 130 phon

Kurve 2:
30 bis 60 phon

Kurve 3:
unter 30 phon

Normstimmton DIN 1317

1. Als Normstimmton gilt der Ton mit einer Frequenz von 440 Schwingungen je Sekunde (Hz).
2. Dieser Wert soll in möglichst engen Grenzen bei öffentlichen Musikdarbietungen eingehalten werden.
3. Zur Einstimmung und Nachstimmung wird die Verwendung von Geräten empfohlen, die den Normstimmton mit einer Genauigkeit von $\pm$ 0,5 Hz erzeugen.
4. Die Musikinstrumente müssen so gebaut sein, daß sie im eingespielten Zustande eine auf dem Normstimmton sich aufbauende Stimmung unter normalen Verhältnissen einzuhalten gestatten.

Erläuterungen

Die Tonhöhe des Stimmtons, des eingestrichenen a, ist im Laufe der Musikgeschichte mannigfachen Schwankungen unterworfen gewesen. Im großen gesehen ist bis in die neueste Zeit hinein die Tonhöhe des Stimmtons allmählich gestiegen. Die Stimmton-Konferenz von Wien im Jahre 1885 hat sich um eine Vereinheitlichung des Stimmtons auf 435 Schwingungen in der Sekunde bemüht, jedoch wurde diese Regelung nicht genügend beachtet. Tatsächlich ist in Europa die Musizierstimmung von Land zu Land, von Orchester zu Orchester, von Instrument zu Instrument beträchtlich verschieden; ihr Wert liegt im Mittel zur Zeit etwa bei 443 Schwingungen in der Sekunde. Die nachteiligen Auswirkungen dieses Zustandes auf die Musikausübung, auf den Bau von Musikinstrumenten und auf verwandte Gebiete sind offensichtlich. Der Stimmtonausschuß im Deutschen Normenausschuß hat daher nach eingehenden Vorarbeiten einen Vorschlag für die Neufestsetzung des Stimmtons ausgearbeitet. Dieser sieht unter Herabsetzung der zu hoch getriebenen Musizierstimmung eine Vereinheitlichung des Stimmtons vor und kommt damit den berechtigten Wünschen namentlich der Sänger entgegen. Gleichzeitig berücksichtigt er die im Gebrauch befindlichen Musikinstrumente. Einzelheiten siehe Akust. Z. 4 (1939), S. 288.

Manche Einzelfragen, besonders für den Bau von Musikinstrumenten, sind noch zu klären. Die notwendigen Untersuchungen werden sich in Deutschland um so leichter durchführen lassen, als der Stimmton von 440 Hz werktäglich gegen 10,50 Uhr vom Deutschlandsender über den Rundfunk verbreitet wird und zur Kontrolle dienen kann. Die Aufrechterhaltung des Stimmtons innerhalb der erwünschten engen Grenzen bei der Musikausübung geschieht am besten durch Vergleich mit dem Ton eines elektroakustischen Stimmtongebers hoher Konstanz oder gleichwertiger Einrichtungen. Als einfache Einstimm-Mittel können auch Stimmgabeln der Frequenz 440 Hz benutzt werden.

Die bisher vielfach übliche Orchestereinstimmung nach der Oboe und die Einstimmung einzelner Musikinstrumente und größerer Klangkörper nach Stimmpfeifen oder anderen unkontrollierbaren Einstimmitteln gewährleistet nicht die erwünschte genaue Einhaltung des Normstimmtons.

Der Normstimmton gilt auch für die öffentliche Wiedergabe von Schallaufzeichnungen (Tonfilm, Schallplatte usw.).

PATENTSCHAU

Bearbeitet von Karl Patermann

173.

Deutsches Patent Nr. 694508, patentiert vom 8. 10. 37, ausgegeben am 2. 8. 40

C. Lorenz Akt.-Ges. in Berlin-Tempelhof, Erfinder: W. M. Hahnemann

Empfangseinrichtung für Schallwellen, die zur Übermittlung von Überholungssignalen zwischen Kraftfahrzeugen dienen

Man hat zwischen zwei Kraftfahrzeugen usw. eine Übermittlung von Überholungssignalen unter Verwendung von Schallwellen durchgeführt, die von dem überholenden Wagen ausgesandt und von dem zu überholenden Wagen mittels eines auf die Geberfrequenz abgestimmten Empfängers aufgenommen werden.

Mit Rücksicht auf den Dopplereffekt wird die größte Empfindlichkeit der Empfangseinrichtung nicht in den Bereich der Sendefrequenz gelegt, sondern sie wird um so viel verschoben, wie der durch den Dopplereffekt verursachten Frequenzerhöhung bei einem Geschwindigkeitsunterschied von 20 bis 40 km zwischen den beiden Fahrzeugen entspricht.

174.

Deutsches Patent Nr. 696294, patentiert vom 11. 10. 31, ausgegeben am 17. 9. 40

Telefunken-Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin

Elektrisches Musikinstrument

Die bisher bekannten Instrumente mit schwingenden oder umlaufenden Elementen, deren jedes mehrere magnetische, elektrische oder lichtelektrische Generatoren entsprechend den zu erzeugenden Impulsen steuert, können verbessert werden. Die bisher bekannten Instrumente liefern stets Impulse, deren Kurvenform auch bei Änderung der Schwing- oder Umlaufgeschwindigkeit ihren Charakter beibehält, d. h. die beweglichen Formanten der zu erzeugenden Klänge bleiben im wesentlichen erhalten. Eine Änderung des Verhältnisses der Obertöne zum Grundton tritt nicht auf. Man konnte nur Änderungen der Klangfarbe erzielen.

Neue Anordnungen gestatten, in einfacher Weise die Typen verschiedener mechanischer Musikinstrumente angenähert nachzuahmen. Hierzu ist bereits vorgeschlagen worden, bei umlaufenden Zahnradgeneratoren die umlaufenden Elemente doppelt auszuführen, wobei die nebeneinanderliegenden Zahnräder Zahnkurven erhalten, die verschiedene Klangfarben bewirken.

Jetzt werden die jedem schwingenden oder umlaufenden Element zugeordneten Generatoren derart verschieden bemessen, daß die erzeugten elektrischen Impulse verschiedene Kurvenform aufweisen. Z. B. werden die Polschuhe der Einzelmagnete verschiedenartig ausgebildet, so daß voneinander abweichende Änderungen des magnetischen Flusses erfolgen. Wahlweise Einschaltung der Polschuhe.

175.

Deutsches Patent Nr. 696295, patentiert ab 1. 11. 35, ausgegeben am 17. 9. 40

Dr. phil. habil. Oskar Vierling in Hannover

Elektrisches Klavier

Elektrisches Klavier mit kapazitiver Abnahme der Saitenschwingungen, bei dem die Schalter zum Aufladen der Saiten in einem Zusatzgerät untergebracht und auf dem schwereren Arm von Hebelgliedern angeordnet sind, deren anderer Arm mit den Tasten in Wirkverbindung steht.

176.

Deutsches Patent Nr. 696558, patentiert vom 5. 3. 37, ausgegeben am 24. 9. 40

I. G. Farbenindustrie A.-G. in Frankfurt-Main. Erfinder: Dr. Friedrich Biedermann

Vorrichtung zum Aufzeichnen von Tönen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Herstellung von Lichttonaufzeichnungen, die ein elastisches Band, das das Lichtsteuerorgan bewegt, besitzt, wobei das eine Ende des Bandes an einem Träger ortsfest ist. Um die nötige Größe der Schwingungsamplitude zu erreichen, ist es meist nötig, eine Art Übersetzung, beispielsweise in der Form schwingender Spiegel, zu verwenden. Hierbei treten Verzerrungen auf. Zur Abhilfe wird das das Lichtsteuerorgan bewegende elastische und an einem Ende an einem Träger orstfeste Band in der Ruhelage gerade- oder annähernd geradegestreckt und das andere Ende an der Schwingfläche einer Membran so befestigt, daß die Richtung der Durchbiegung der Membran und des Bandes zueinander senkrecht liegen.

177.

Deutsches Patent Nr. 696599, patentiert ab 19. 9. 31, ausgegeben am 25. 9. 40. Zusatz zum DRP. 670566 vom 30. 1. 30

Albert Patin in Berlin

Photozelle für Lichttonwiedergabe

Die Photozellentechnik war davon ausgegangen, daß die Betriebsspannung der Zellen wesentlich unterhalb der Zündspannung liegen mußte, um das Glimmen zu verhüten. Dieses Vorurteil wird durch das Hauptpatent beseitigt; dort ist eine mit instabilem (steuerbarem) Anodenvorglimmlicht arbeitende Photozelle beschrieben, bei der sich der Widerstand des Stromkreises der Gasentladung entsprechend dem die Photokathode treffenden Lichtstrahl ändert. Verwendung dieser Zelle für die Wiedergabe von Lichttonaufzeichnungen in Wellenschrift und Sprossenschrift. Geräuschärmere und klanggetreuere Wiedergabe, Wegfall von Verstärkerstufen.

178.

Deutsches Patent Nr. 696631, patentiert ab 8. 2. 35, ausgegeben am 26. 9. 40

C. Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof

Hochfrequenzmikrophon

Es wird ein Verfahren zur unmittelbaren Modulierung von Hochfrequenzschwingungen mittels Schallwellen unter Verwendung eines abgestimmten Schwingungskreises vorgeschlagen, bei dem die Einstellung der modulierten Trägerfrequenz auf die Mitte einer Flanke der Resonanzkurve desselben erfolgt und zwar derartig, daß der magnetische Widerstand eines Hochfrequenzeisenkernes einer Spule, der an einer den Schallwellen zugänglichen Stelle durch eine dünne Schicht aus einem sehr feinkörnigen Pulver eines dem Hochfrequenzeisenkern entsprechenden Baustoffes überbrückt ist, durch die Schallwellen direkt beeinflußt wird. Das Mikrophon arbeitet also analog dem Kohlengrießmikrophon, nur daß an Stelle des durch den Schall be-

dingten Ohmschen Widerstandes Schwankungen des magnetischen Widerstandes und damit der Induktivität treten.

179.

Deutsches Patent Nr. 696706, patentiert vom 3. 8. 33, ausgegeben am 27. 9. 40

Telefunken Ges. für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin

Markierungstaste für elektrische Musikinstrumente

Bei Spielvorrichtungen für elektrische Musikinstrumente, bei denen ein langgestreckter drahtförmiger Leiter mit einer ihm gegenüberliegenden Schiene in Berührung gebracht wird, ist bereits vorgeschlagen worden, elastische Markierungstasten vorzusehen, um dem Spieler Anhaltspunkte für das Spiel zu geben, die er mit dem Gefühl wahrnehmen kann. Diese Tasten lösten sich unbeabsichtigt aus ihrer Normallage. Jetzt wird die Markierungstaste in eine Haltevorrichtung eingesetzt, die nach Art einer Rechenschiebereinstellvorrichtung kästchenartig mit einer Andruckfeder ausgebildet ist.

180.

Deutsches Patent Nr. 696783, patentiert vom 18. 12. 37, ausgegeben am 30. 9. 40

Walter Wucherpfennig in Berlin-Adlershof

Selbsttätiger Antwortgeber, dessen Antwort von dem Fernsprechteilnehmer zusammengestellt werden kann

Zwecks Zusammenstellung beliebiger Antworten seitens eines einstellenden Teilnehmers werden die im Antwortgeber des Fernsprechamtes feststehenden Antworten durch entsprechende Einstellung der Wählscheibe mit beliebigen wählbaren Zusätzen versehen. Es fehlt also jegliche Zusatzeinrichtung an der Teilnehmerstelle. Durch gewohnte Bedienungshandgriffe, entsprechend dem Wählvorgang bei der Herstellung einer Verbindung, kann sich daher der Teilnehmer des im Selbstanschlußamt befindlichen Antwortgebers bedienen. Dieser gibt dann während der Abwesenheit des Teilnehmers an dessen Stelle jedem anrufenden Teilnehmer eine Antwort in einer bestimmten Form, jedoch mit einem Inhalt, der in ganz eindeutiger Weise auf den abwesenden Teilnehmer Bezug nimmt.

181.

Deutsches Patent Nr. 696835, patentiert vom 9. 6. 35, ausgegeben am 30. 9. 40

Atlas-Werke A.-G. in Bremen

Elektrische Kompensationseinrichtung für die Schallrichtungsbestimmung

Bei Schallrichtungsempfangsanlagen sind für die Kompensation des Zeit- bzw. Phasenunterschiedes, mit dem die von einer Schallquelle kommende Wellenfront nacheinander die einzelnen Empfänger einer beliebig im Raum angeordneten Empfängergruppe erreicht, zwei verschiedene Arten von elektrischen Kompensatoren gebräuchlich. Entweder benutzt man einen sog. Progressivkompensator, bei dem eine schrittweise Kompensation vorgenommen wird, indem zunächst die Empfänger jeder Gruppe nnd dann gegebenenfalls die aus mehreren Teilgruppen gebildeten Zwischengruppen und die folgenden miteinander kompensiert werden, oder man verwendet den sog. Einkettenkompensator, bei dem alle Empfänger gleichzeitig durch Einschalten von Teilen einer einzigen Verzögerungskette kompensiert werden. Beide Verfahren haben bestimmte Vorteile und Nachteile.

Die Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, für Anlagen, die eine sehr große Zahl von einzelnen Empfängern benutzen, bei denen einerseits die durch den Progressivkompensator bedingten Beschränkungen hinsichtlich der gegenseitigen Lage der Empfänger nicht möglich oder nicht zweckmäßig sind und bei denen andererseits die Anwendung des Einkettenkompensators infolge der großen Empfängerzahl zu Schwierigkeiten führt, eine möglichst vorteilhafte Kompensationseinrichtung aus beiden Arten zu schaffen.

182.

Deutsches Patent Nr. 697036, patentiert vom 25. 4. 36, ausgegeben am 12. 10. 40

Siemens-Schuckertwerke A.-G., Berlin-Siemensstadt

Verfahren zur Untersuchung des Erduntergrundes

Verfahren mittels innerhalb einer Grube ausgesendeten Strahlen, dadurch gekennzeichnet, daß dem Boden der Grube eine geometrisch regelmäßige Gestalt gegeben wird, so daß die ihn unter verschiedenen Winkeln treffenden Schallstrahlen gesetzmäßig gesammelt oder gestreut werden.

183.

Deutsches Patent Nr. 697073, patentiert vom 9. 7. 35, ausgegeben am 5. 10. 40

Siemens & Halske A.-G. in Berlin-Siemensstadt, Erfinder: Dipl.-Ing. Erwin Hölzler

Schaltungsanordnung zur Regelung des Übertragungsmaßes

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung zur Regelung des Übertragungsmaßes von Übertragungssystemen mit Hilfe von Regelwiderständen, deren spezifischer Widerstand zwecks Steuerung beeinflußt wird und sich auf Grund thermischer Vorgänge ändert. Die Regelwiderstände besitzen in bekannter Weise eine so große Trägheit, daß sie für die zu übertragenden Nutzströme als lineare Widerstände wirken. Auf diese Weise ist es möglich, beim Regelvorgang nichtlineare Verzerrungen der Nutzströme zu vermeiden.

184.

Deutsches Patent Nr. 697154, patentiert vom 8. 9. 34, ausgegeben am 7. 10. 40

Dr. phil. habil. Oskar Vierling in Hannover

Taste für elektrische Musikinstrumente

Um dem Spieler eines elektrischen Musikinstruments alle die Ausdrucksmöglichkeiten in die Hand zu geben, die für ein ausdrucksvolles Spiel notwendig sind, ist eine besondere Ausgestaltung der Taste erforderlich. Es ist bekannt, durch den Tastendruck einen Widerstand zu verändern, der im elektrischen Stromkreis liegt und von dessen Wert die Lautstärke abhängt. Durch Änderung des Druckes kann also eine Amplitudenmodulation hervorgerufen werden. Kohlepulver bringt Kontaktschwierigkeiten. Jetzt werden an den Tasten Belegungen (13, 14) einer Kapazität vorgesehen, über die die von dem selbständigen Generator kommenden Spannungen zum Verstärker gelangen. Infolge Fortfalls jeglicher mechanischer Berührung der beiden gegeneinander beweglichen Elemente ist eine praktisch trägheits- und geräuschfreie Steuerung vorhanden.

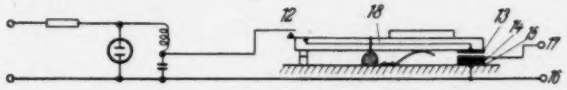


Abb. 1

185.

Deutsches Patent Nr. 697177, patentiert vom 13. 3. 37, ausgegeben 8. 10. 40

Klöckner Humboldt-Deutz A.-G. in Köln,

Erfinder: Dipl.-Ing. Heinz Keienburg

Einrichtung zur Schwingungsdämpfung

Auf der Ausnutzung des Reibungswiderstandes beruhende Einrichtung zur mechanischen Dämpfung von Schwingungen elastisch gelagerter Maschinen, deren Dämpfung in beiden Richtungen stetig zunimmt und bei kleinen Ausschlägen unverhältnismäßig gering ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung des Reibungsgliedes von der bogenförmigen Bahn eines Lenkers (z. B. eines Exzenter) oder Hebels in der Weise abgeleitet wird, daß das Reibungsglied sich rechtwinklig zu der in der Mittellage der Schwingung an die Bahn gelegten Tangente bewegt.

186.

Deutsches Patent Nr. 697206, patentiert vom 21. 6. 35, ausgegeben am 15. 10. 40

Electroacoustic G. m. b. H. in Kiel,

Erfinder: Joachim Uhing

Schallverzugsrechner

Die von einem Horchgerät ermittelten akustischen Peilwerte (Seitenwinkel oder Azimut und Höhenwinkel) einer bewegten Schallquelle, z. B. eines Flugzeuges, weichen von den wahren oder optischen Werten ab. Diese Abweichung ist darin begründet, daß der Schall eine endliche Zeit gebraucht, um von der Schallquelle zum Horchgerät zu gelangen (Schallverzug). Schallverzugsgeräte können mechanisch oder elektromechanisch wirken. Vorgeschlagen wird, die mechanischen Größen in äquivalente elektrische Größen umzuwandeln. Eine hierfür geeignete Formel wird abgeleitet und eine Regel aufgestellt.

187.

Deutsches Patent 697624, patentiert vom 26. 7. 38, ausgegeben am 18. 10. 40

Telefunken Ges. für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin, Erfinder: Erwin Gerlach

Verfahren zum Zusammenbau eines Kondensatormikrophons

Beim Zusammenbau von Kondensatormikrophonen ist dafür zu sorgen, daß kein Staub in das Mikrophon eindringt. Der Zusammenbau erfolgt innerhalb eines geschlossenen Kastens derart, daß die zusammenzubauenden Teile des Mikrophons mittels einer die Öffnung eines unter Überdruck stehenden Kastens wenigstens in ihren beiden Endstellungen verschließenden Vorrichtung in diesen Kasten gebracht werden, daß eine weitere durch eine der Wände des Kastens hindurchgeführte, in allen Richtungen bewegliche Vorrichtung zum Halten der Mikrophonteile vorgesehen ist, die auch den Zusammenbau dieser Teile innerhalb des Kastens ermöglicht. Die Mikrophonteile werden innerhalb des Kastens gereinigt und dann so weit zusammengebaut, daß kein Staub mehr in das Mikrophoninnere eindringen kann.

188.

Deutsches Patent Nr. 697704, patentiert am 13. 9. 36, ausgegeben am 21. 10. 40

Karl Küpfmüller in Berlin-Charlottenburg

Elektroakustisches binaurales Peilverfahren

Verbesserung der elektroakustischen binauralen Peilverfahren zur Feststellung der Einfallrichtung von Schallwellen. Hierbei wird der Schall durch zwei oder mehrere räumlich voneinander entfernte Mikrophone aufgenommen und elektrisch zwei Fernhörern an den beiden Ohren des Beobachters zugeführt. Infolge der Richtungsempfindung des Gehörs kann durch Schwenken der Mikrophonanordnung die Einfallsrichtung des Schalles bestimmt werden. Die Richtungsempfindung des Ohres ist um so deutlicher, je schärfer die Schallschwingungen einsetzen. Daraus folgt, daß es für die Richtungsempfindung nicht allein auf die Zeitdifferenz t_1 ankommt, sondern auch auf die Steilheit dp, dt, mit der der Schalldruck im Ohr ansteigt. Durch steileren Anstieg der Schalldruckamplituden ist es möglich, den Richtungseindruck markanter zu machen.

189.

Deutsches Patent Nr. 697749, patentiert vom 9. 5. 37, ausgegeben am 22. 10. 40

Atlas-Werke A.-G. in Bremen;

Erfinder: Dr. Friedrich Wilhelm Kallmeyer

Vorrichtung für auf Schiffen eingebaute Unterwasserschallschwinger

Unterwasserschallschwinger werden derart in Schiffskörper eingebaut, daß sie mit ihrer strahlenden bzw. empfangenden Fläche in der Fläche der Außenhaut liegen oder die Außenhaut selbst zur Schallübertragung vom und zum Außenwasser benutzt wird, indem das Schallgerät in einem innen an die Außenhaut angesetzten flüssigkeitsgefüllten Tank angeordnet ist. Dieser Einbau hat zwar den Vorteil, daß die Schallschwinger nicht nach außen über die Schiffshaut vorragen; andererseits besteht jedoch der Nachteil, daß die Schallübertragung bei fahrendem Schiff dem störenden Einfluß der vom Wasser mitgeführten, an der Schiffswand entlanggleitenden Luftteilchen ausgesetzt ist. Diese Luftbläschen rufen nämlich im Schallweg starke Absorptionen und Störungen hervor.

Ausschaltung dieser Fehlerquelle durch Ableiten bzw. Umleiten der Luftteilchen durch Kanäle.

190.

Deutsches Patent Nr. 697865, patentiert am 26. 4. 38, ausgegeben am 25. 10. 40

Telefunken Ges. für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin; Erfinder: Dr. phil. Heinrich Benecke

Dämpfungsmittel

Aus Resonatoren bestehendes Dämpfungsmittel für stark hallende Räume, dadurch gekennzeichnet, daß die Verlustdämpfung der Resonatoren, die auf die zu dämpfenden Frequenzen abgestimmt sind, ganz oder nahezu gleich der Strahlungsdämpfung ist.

191.

Deutsches Patent Nr. 697896, patentiert am 7. 2. 37, ausgegeben am 26. 10. 40

Telefunken Ges. für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin; Erfinder: Dr. Heinrich Benecke

Großlautsprecher für große Schalleistungen mit Schalltrichter erheblicher Abmessungen

Der Großlautsprecher soll folgende Merkmale besitzen: 1. Die Verwendung von Stein- oder Kunststeinplatten als Werkstoff für die Schalleitflächen, 2. die Verwendung eines aus Flach- und Winkeleisen zusammengesetzten maschenförmigen Rahmenwerkes als Träger der Platten, 3. die akustische Isolierung der Platten untereinander und gegenüber dem Rahmenwerk sowie den Befestigungsklammern, 4. die Unterteilung des Rahmenwerkes in mehrere akustisch voneinander isolierte Teile sowohl in der Längsrichtung als auch quer dazu.

192.

Deutsches Patent Nr. 697975, patentiert vom 25. 4. 39, ausgegeben am 29. 10. 40

Giacomo Coniglione in Hamburg

Verfahren zum Stimmen von Saiteninstrumenten

Gemäß der Erfindung wird die zu stimmende Saite durch eine an sich bekannte umlaufende Impulsscheibe und damit zusammenarbeitende Magnete in Schwingung gebracht und dabei gleichzeitig mit dem Stimmschlüssel so weit gespannt, bis Resonanz eintritt.

193.

Deutsches Patent Nr. 698139, patentiert am 3. 9. 37, ausgegeben am 2. 11. 40

Dr. Fritz Seidel in Berlin-Lichterfelde

Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Gittern für photographische Tonaufzeichnung

Gitter werden z. B. bei nach dem Intensitätsverfahren arbeitenden Vorrichtungen zur photographischen Tonaufzeichnung gebraucht, bei denen ein von den aufzuzeichnenden Tönen gesteuerter Drehspiegel zwischen zwei feststehenden Gittern eingeschaltet ist, wobei das erste durch eine z. B. spaltförmige Lichtquelle beleuchtete Gitter mit Hilfe des Drehspiegels auf dem zweiten Gitter abgebildet wird, dessen Stäbe parallel zu den Stäben des ersten Gitters stehen.

Das Verfahren zur Herstellung besteht darin, daß zunächst zwei dicht nebeneinanderliegende Drähte bifilar auf einen Rahmen aufgewickelt werden, worauf der eine Draht wieder abgewickelt und der auf dem Rahmen gebliebene Draht auf dem Rahmen z. B. durch Löten oder Kleben befestigt wird, worauf schließlich die Rückseite der Wicklung entfernt wird.

194.

Deutsches Patent Nr. 698339, patentiert vom 30. 11. 37, ausgegeben am 7. 11. 40

Tobis Tonbild-Syndikat A.-G. in Berlin;

Erfinder: Heinrich Henkel

Gekennzeichnete photographische Tonschrift

Die Erfindung gibt ein Verfahren an, durch das nachträglich jederzeit festgestellt werden kann, mit welchem Gerät eine Tonschrift aufgezeichnet wurde, gleichgültig, ob es sich um ein Negativ oder um eine Positivkopie handelt.

Danach werden in der Tonspur an sich bekannte feine Längslinien angebracht, und zwar derart, daß bei Vorhandensein mehrerer Tonaufzeichnungsgeräte die diese Linien erzeugende Vorrichtung eine verschiedenartige Anordnung der Linien für jedes Gerät ergibt. Die Anordnung der Linien ist somit ein charakteristisches Kennzeichen für die Herkunft der Tonschrift. Die Linien selbst können entweder

helle oder dunkle Längslinien sein. Sie haben auf die Wiedergabe keinen Einfluß, da sie parallel zur Tonspur verlaufen.

195.

Deutsches Patent Nr. 698455, patentiert vom 12. 5. 33, ausgegeben am 11. 11. 40

Telefunken Ges. für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin

Schaltungsanordnung zum Regeln der Dynamik in Schallübertragungsanlagen

Schaltungsanordnungen zur Regelung des Übertragungsmaßes sind z. B. die Dynamikregler. Diese Anordnungen zur Verstärkungsregelung benutzten im allgemeinen die veränderliche Steilheit von Ein- oder Mehrgitterröhren zur Verstärkungsregelung, sie erfordern also in jedem Falle einen Mehraufwand von Röhren im Verstärker. Weiter ist vorgeschlagen worden, nichtlineare Elemente, wie Glühkathodengleichrichter, Eisenwasserstoffwiderstände oder dergleichen, quer oder längs zum Übertragungsweg zu legen, um dadurch eine Einengung bzw. eine Erweiterung der Dynamik herbeizuführen. Es ist bereits bekannt, zur Verringerung der Ohmschen Verluste in mit niederfrequentem oder hochfrequentem Wechselstrom betriebenen Leitungen Kristallkontakte in die Leitung einzubauen und diesen Kristallkontakten über die angeschlossenen Leiter dauernd oder doch während der Benutzung der Leitung einen Gleichstrom solcher Stärke zuzuführen, daß die Kristallkontakte als negative Widerstände dienen.

Es hat sich nun herausgestellt, daß eine allen Anforderungen genügende, im Aufbau sehr einfache und billige Regelschaltung dadurch erhalten werden kann, daß die Verstärkerröhren durch steuerbare zweipolige nichtlineare Widerstände, wie Trockengleichrichter, Detektoren, Glühkathodengleichrichter Drosselspulen mit Eisenkernen usw., ersetzt werden. Diese nichtlinearen Widerstände erhalten eine Vorspannung, die den jeweils gewünschten Arbeitspunkt der Stromspannungscharakteristik festlegt.

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung zum Regeln der Dynamik in Schallübertragungsanlagen, insbesondere in Schallaufzeichnungs- und mit Schallspeichern arbeitenden Wiedergabeanlagen mit zwei entgegengesetzt geschalteten Regelgliedern, die dadurch gekennzeichnet ist, daß als Regelglieder steuerbare, zweipolige nichtlineare Widerstände dienen, denen ein gleichgerichteter Teil der Nutzspannung als Vorspannung zur Festlegung des Arbeitspunktes für die zu regelnden Übertragungsimpulse zugeführt wird, und daß die jeweilige Vorspannung und die Wechselspannung so bemessen werden, daß die Modulation der Vorspannung durch die Wechselspannung auf einem praktisch linearen Teil der Kennlinie erfolgt.

196.

Deutsches Patent Nr. 698551, patentiert vom 16. 10. 36, ausgegeben am 13. 11. 40. Zusatz zum DRP. 475059

Siemens & Halske A.-G. in Berlin-Siemensstadt; Erfinder: Dipl.-Ing. Hermann Kimmel in München

Schaltungsanordnung zur Vermeidung elektrisch-akustischer Rückkopplung in Fernsprechteilnehmerstationen

Nach dem Hauptpatent wird durch zwischen den beiden Zweigen vorgesehene Rückkopplungssperren während des Betriebes stets der eine der beiden Zweige gesperrt. Das Zusatzpatent stellt eine Weiterbildung des Hauptpatentes dar für den Fall, daß als Rückkopplungssperren sprachgesteuerte Relais verwendet werden.

Anordnungen sind bekannt, bei denen als Sperrrelais polarisierte Relais mit zwei Wicklungen verwendet werden, deren Anker eine bestimmte, ein für allemal festliegende Ruhelage besitzt. Die beiden Wicklungen eines solchen Sperrelais sind dabei derart angeordnet, daß die eine Wicklung über einen Abzweig des Mikrophonkreises nach Gleichrichtung durch vorgeschaltete Gleichrichter von den abgehenden Sprechströmen und die andere Wicklung über einen Abzweig des Lautsprecherkreises ebenfalls nach Gleichrichtung von den ankommenden Sprechströmen beeinflußt wird.

Die bekannten Anordnungen haben nun infolge der Ruhelage des Ankers des Sperrelais Neigung zur Wortverstümmelung, da das Sperrelais in seinem Bestreben, nach dem Aufhören der Sprechströme in seine Ruhelage zurückzukehren, den bestehenden Sprechweg, welcher durch die Sprache immer wieder von neuem hergestellt werden muß, unnötig oft öffnet.

Die Erfindung beseitigt diese Nachteile dadurch, daß als Sperrmittel ein polarisiertes Relais mit unbestimmter Ruhelage seines Ankers und ein Hilfsrelais mit sehr kurzer Ankerabfallzeit dient, derart, daß im Abzweig des Lautsprecherkreises die eine Wicklung des polarisierten Relais und die Wicklung des Hilfsrelais liegen und, beeinflußt durch die ankommenden Sprechströme, das polarisierte Relais den Lautsprecherkreis und den Stromkreis für das Hilfsrelais herstellt, das Hilfsrelais hingegen den Stromkreis zwischen Mikrophon und dem die zweite Wicklung des polarisierten Relais enthaltenden Abzweig des Mikrophonkreises unterbricht, während die über den Abzweig des Mikrophonkreises durch die abgehenden Sprechströme beeinflußte Wicklung des polarisierten Relais die Auftrennung des Lautsprecherkreises zwischen Lautsprecher und Abzweigstelle und Durchschaltung des Mikrophonkreises zwischen Abzweigstelle und Gabelübertrager der Anschlußleitung bewirkt und auch die Erregung des Hilfsrelais im Lautsprecherabzweig verhindert.

197.

Deutsches Patent Nr. 698569, patentiert vom 11. 4. 37, ausgegeben am 13. 11. 40

Dr. phil. habil. Oskar Vierling in Hannover

Photoelektrisches Musikinstrument

Für die Klangfarbe von Musikinstrumenten ist nicht allein die Kurvenform im stationären Zustand maßgebend, sondern ein Hauptcharakteristikum der Klangfarbe bildet der Einschaltvorgang. Bei photoelektrischen Musikinstrumenten wurde bisher der Einschaltvorgang wenig beachtet. Man begnügte sich damit, Instrumentenklänge aufzuzeichnen, um diese dann allmählich einzuschalten. Nachdem man schon photoelektrisch die Möglichkeit hat, einen Instrumentenklang naturgetreu aufzunehmen, wäre es folgerichtig gewesen, auch den Einschaltvorgang mit aufzuzeichnen. Diese verhältnismäßig einfache Maßnahme würde aber dann verlangen, daß sich der Spalt beim Tastendruck am Beginn des Phonogramms befinden würde. Die Voraussetzung dafür wäre aber eine ziemlich umständliche Mechanik.

Der Einschaltvorgang wird jetzt derart ausgebildet, daß im ersten Moment nur die äußersten Zacken der Sinuskurve wirksam werden und dann allmählich erst die ganze Kurve ausgeleuchtet wird. In diesem Falle ist also nicht nur die Spaltbreite, sondern auch die Spaltlänge eine Funktion der Öffnungszeit.

198.

Deutsches Patent Nr. 698570, patentiert vom 13. 7. 37 ab, ausgegeben am 13. 11. 40

Dr. phil. habil. Oskar Vierling in Hannover

Anordnung zur elektrischen Erzeugung von Glockenklängen

Eine natürliche Glocke wird in eine schwingende Bewegung versetzt, die die Abstrahlung ganz entscheidend beeinflußt. Dieses Hin- und Herschwingen der Glocke ergibt vor allen Dingen eine ganz typische Amplitudenmodulation, die dann noch mit einer Änderung der Frequenz und des Teiltonspektrums verbunden ist.

Die Erfindung besteht nun darin, diese Verhältnisse durch die Einführung einer Amplitudenmodulation nachzubilddn und unter Umständen auch noch die Frequenzänderung und die Änderung des Teiltonspektrums vorzunehmen. Für die Erzeugung der Glockentöne können z. B. einfache Stäbe durch eine Art Klaviermechanismus angeschlagen werden. Im Rhythmus dieses Anschlags erfolgt eine Bewegung des Tonabnehmers. Dabei kann zur Tonabnahme irgendein beliebiges Verfahren, z. B. magnetisch oder kapazitiv oder dergl., verwendet werden.

199.

Deutsches Patent Nr. 698663, patentiert vom 17. 2. 39, ausgegeben am 14. 11. 40

Telefunkenplatte G. m. b. H. in Berlin-Tempelhof; Erfinder: Hans Bartels und Dr. phil. Hugo Lichte

Tonabnehmer für Schallplatten

Gemäß der Erfindung ist der Tonabnehmer mit einem beim Einlauf der Nadel in die Schallrille selbsttätig in die Tonabnehmerdose zurücktretenden Führungsbolzen (13) versehen, der in seiner Form einer entsprechenden Einführungsrille (3) der Schallplatten angepaßt ist.

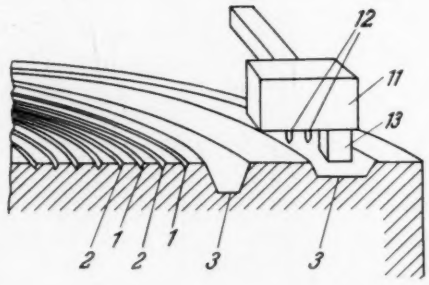


Abb. 2

200.

Deutsches Patent Nr. 698734, patentiert vom 29. 11. 38, ausgegeben am 15. 11. 40

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V. in Berlin-Adlershof

Erfinder: Dipl. Ing. Rolf Coermann

Knochenleitungstelefon zur Übertragung von durch einen schwingenden Kristall erzeugter Schallenergie über die Schädelknochen zum Innenohr

An ein Knochenleitungstelefon zur Übertragung von durch einen schwingenden Kristall erzeugter Schallenergie über die Schädelknochen zum Innenohr sind eine Reihe von Forderungen zu stellen, die die bisherigen Durchbildungen nicht erfüllten. Die vielen Nachteile werden vermieden, wenn man in dem Telefon in den Weg zwischen Kristall und Schädelknochen hydraulisch miteinander gekoppelte Membranen einschaltet. Der statische Druck kann durch Anwendung einer hydraulischen Differentialkapsel, beispielsweise eines Drosselkanals, von den Kristallen abgeleitet werden. Die Schwingungen der ersten Membran werden hierbei ungeschwächt auf einen Bolzen der zweiten Membran weitergeleitet und von dort auf den Knochen übertragen. Statt der Membranen können auch abgedichtete Kolben verwendet werden.

201.

Deutsches Patent Nr. 698950, patentiert vom 1. 11. 35, ausgegeben am 20. 11. 40

Dr. phil. habil. Oskar Vierling in Hannover

Anordnung zur Erzielung eines naturgetreuen Klaviertons bei Instrumenten mit mechanisch-elektrischer Tonerzeugung

Der Klavierton zeichnet sich bei hoher Qualität durch einen besonders präzisen Tonansatz aus. Bei den elektrischen Instrumenten war bisher dieser exakte Einsatz nicht vorhanden. Untersuchungen ergaben, daß beim normalen Klavier diese großen Anfangsamplituden, die sehr stark gedämpft sind, auf eine bei den ersten großen Amplituden auftretende Kippschwingung des Steges zurückzuführen sind, die in Richtung der Saiten vor sich geht. Durch die Hebelübersetzung, die sich durch den verhältnismäßig niedrigen Steg und den ausgedehnten Resonanzboden ergibt, werden dann diese Amplituden sehr stark wiedergegeben.

Es wurde daher außer dem Tonabnehmer für die Transversalschwingungen noch ein Tonabnehmer angebracht, der die Kippschwingungen aufnimmt. Damit stellte sich dann auch der gute Klavierton ein.

202.

Deutsches Patent Nr. 699378, patentiert vom 6. 8. 38, ausgegeben am 28. 11. 40

Zeiss Ikon A.-G. in Dresden; Erfinder: Dr. phil. Rolf Görisch

Einrichtung zur grundgeräuscharmen Gegentaktlichttonaufzeichnung

Es ist bei der normalen Tonschrift bekannt, daß eine Grundgeräuschsenkung beispielsweise durch Verlagerung des Schwingungsmittelpunktes des gesteuerten Organs in Abhängigkeit von der Lautstärke bewirkt werden kann. Diese Möglichkeit ist für Gegentaktlichttonaufzeichnungen, insbesondere für die sogen. A-Schrift, nicht durchzuführen. Man behalf sich daher durch Einfügung zusätzlich gesteuerter Abdeckblenden, deren Justierung und genaue Herstellung Schwierigkeiten bereitet.

Jetzt wird eine Einrichtung verwendet, deren besonderes Merkmal darin besteht, daß eine für die Mehrfachtonaufzeichnung bekannte Blende (Doppelzackenblende oder Doppelgraukeil) unmittelbar von den Tonströmen und dem Steuerstrom gesteuert wird und daß dabei im Strahlengang zwischen dieser Blende und dem Aufzeichnungsspalt bilddrehende optische Mittel angeordnet sind.

203.

Deutsches Patent Nr. 699417, patentiert vom 23. 2. 34, ausgegeben am 28. 11. 40

C. Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof

Anordnung zur Übermittlung von Signalen zum Führer eines Fahrzeuges

Um dem Lastkraftwagenführer Signale zu übermitteln, wird man eine Verstärkeranlage mit Lautsprecher einbauen. Da ein Röhrenverstärker gegen mechanische Erschütterungen sehr empfindlich ist und einen erheblichen Aufwand an Stromquellen benötigt, hat man bereits an seiner Stelle Mikrophonverstärker verwendet; diese bestehen bekanntlich aus einer Anzahl von hintereinandergeschalteten Mikrophonen, der sich über elektromagnetische Systeme kaskadenartig steuern. Zur Erzielung der Selektionswirkung ist der Mikrophonverstärker selbst durch geeignete Bindematerialien für das Kohlepulver auf die Signalfrequenz abgestimmt.

204.

Deutsches Patent Nr. 699451, patentiert vom 7. 4. 35, ausgegeben am 29. 11. 40

Roriphon Elektro-Akustische Apparate-Baugesellschaft m. b. H. in München;
Erfinder: Hermann Rohling

Polpaar für Hör- und Sprechköpfe

Die Erfindung betrifft Polpaare, die zur Aufzeichnung oder Wiedergabe von durch Quermagnetisierungen gebildeten Magnetogrammen auf drahtförmigen Aufzeichnungsträgern dienen. Hierbei werden Kerne verwendet, deren ungleichnamige Pole (8 und 9) sich gegenüberstehen. Man nähert die Pole einander soweit als möglich und bringt den Magnetogrammträger (1) dadurch besonders dicht ins magnetische Feld, daß man ihn in einem keilförmigen Einschnitt führt, den die beiden Pole miteinander bilden.

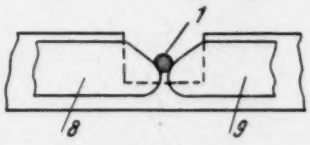


Abb. 3

205.

Deutsches Patent Nr. 699469, patentiert vom 12. 9. 35, ausgegeben am 29. 11. 40

Siemens Apparate u. Maschinen G. m. b. H. in Berlin;
Erfinder: Dr. Carl A. Hartmann

Elektroakustisches Peilgerät für Luftschall

Die Erfindung bezieht sich auf elektroakustische Peilgeräte für Luftschall, bei denen der Übertragungsbereich des das einzelne Schallaufnahmegerät enthaltenden Kreises zwischen mindestens zwei verschiedenen Frequenzbändern umschaltbar ist. Dadurch, daß jederzeit von dem einen Frequenzband auf das andere umgeschaltet werden kann, läßt sich eine bequeme Anpassung an den jeweiligen

Störpegel und die jeweiligen Wind- und Wetterverhältnisse des Beobachtungsortes erzielen. Unter der Verschiedenheit der Frequenzbänder ist sowohl der Fall zu verstehen, daß die Grenzen zweier Frequenzbänder voneinander abweichen, als auch der Fall, daß zwei Frequenzbänder bei gleichen Grenzen lediglich in der Verstärkungskurve einen verschiedenen Verlauf haben.

206.

Deutsches Patent Nr. 699678, patentiert am 10. 7. 37, ausgegeben am 4. 12. 40

Philips Patentverwaltung G. m. b. H. in Berlin; Erfinder: Carel Jan van Loon

Radioempfangsschaltung mit selbsttätiger Lautstärkeregelung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Rundfunkempfangsschaltung mit selbsttätiger Lautstärkeregelung, bei der ein von den empfangenen Schwingungen gesteuertes mechanisches oder elektrisches Relais bei hinreichend genauer Abstimmung auf ein Signal die Breite des von der Empfangsschaltung durchgelassenen Frequenzbandes sprungweise ändert; die Erfindung bezweckt, den bei derartigen Empfangsschaltungen auftretenden Übelstand zu beseitigen, daß Krachgeräusche sich mit großer Stärke im Lautsprecher bemerkbar machen, wenn die Empfangsschaltung nicht auf ein Signal abgestimmt ist. Die ausreichende Krachbeseitigung wird dadurch erzielt, daß bei fehlender Abstimmung alle Frequenzen des wiederzugebenden Tonfrequenzbereiches oberhalb etwa 1000 Hz unterdrückt sind und bei hinreichend genauer Abstimmung alle zu diesem Bereiche gehörigen Frequenzen durchgelassen werden.

SCHRIFTTUM

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

FRIEDRICH GLADENBECK, **Jahrbuch des elektrischen Fernmeldewesens 1940.** Verlag für Wissenschaft und Leben, Georg Heidecker, Berlin-Friedenau 1941. 432 Seiten, Preis 22,— RM.

Das bekannte Jahrbuch gibt wieder einen ausgezeichneten Überblick über die Entwicklungstendenzen der Fernmeldetechnik. In der ersten Arbeit stellt K. KÜPFMÜLLER Überlegungen an, wie sich die Gesamtdämpfung einer Fernverbindung vermindern läßt. Eine kritische Betrachtung der durch Nebensprechen und Echo festgelegten Restdämpfungswerte zeigt, daß durch Herabsetzung der Anforderungen an diese Werte keine wesentlichen Verbesserungen möglich sind. Auch eine gelegentlich vorgeschlagene vierdrähtige Leitungsführung bis zum Teilnehmer oder ein Zweibandbetrieb auf den Teilnehmerleitungen ist wegen der hohen Kosten und komplizierten Technik nicht zu empfehlen. Nur in einer weiteren Ausdehnung der Zweigwegesysteme (Vierdrahtsysteme) und in einem weiteren Vordringen des Zwischenverstärkers nach den Enden der Sprechverbindung (in das Endfernamt und vielleicht auch in das Ortsamt) sieht der Verfasser den natürlichen und erwünschten Gang der Entwicklung. Eine Voraussetzung für beides ist eine Verminderung der Ungleichmäßigkeiten im Aufbau der Netzgruppen und Ortsnetze, worauf man jetzt schon achten muß. K. HERZ und E. BURMEISTER berichten über die neuen Fernkabelformen der Deutschen Reichspost. Auch über die Umstellung auf heimische Rohstoffe werden Angaben gemacht. Den Entwicklungsstand der Freileitungen für mehrere Trägerfrequenzsysteme und die Planung der Deutschen Reichspost für derartige Verbindungen behandelt K. O. SCHMIDT. Als Versuchsstrecke für Freileitungs-Trägerfrequenzverfahren ist die Verbindung zwischen Posen und Breslau in Aussicht genommen. Die anschließenden Aufsätze von H. Rettich, „Gedanken zur Gestaltung großer Ortsnetze", und F. GLADENBECK, „Betrachtungen zur Rundfunkversorgung in technischer Hinsicht nach dem Krieg", zeigen, welche vorsorgenden Überlegungen für eine gleichmäßige und wirtschaftlich tragbare Verteilung der Fernsprech- und Rundfunkenergie notwendig sind. Während die Arbeit von E. PROKOTT, „Über Modulation und ihre Anwendung in der Nachrichtentechnik" allgemeiner Natur ist, wird von E. HUDEC ein praktisch besonders wichtiges Gebiet, das der Übertragung von Funkbildern ausführlich behandelt. Die Vor- und Nachteile einer Zeit-, Impuls-, Amplituden- und Frequenzmodelung werden an Hand praktischer Beispiele erörtert. Für die Übertragung von Funkbildern auf große Entfernungen ist die Amplitudenmodelung völlig ungeeignet. Bei nicht zu starken Echostörungen lassen sich Funkbilder durch Zeit- und Frequenzmodelung brauchbar übertragen. Das Impulsverfahren wird für das beste gehalten, da auch bei starken Echostörungen mit großen Laufzeitunterschieden noch einwandfreie Funkbilder empfangen werden können. Ein wichtiges neues Gebiet behandelt O. H. GROOS in seinem Beitrag „Geschwindigkeitsgesteuerte Röhren". Der Leser wird hier mit Theorie und praktischer Anwendung der neuesten Dezimeter- und Zentimeterröhren und -schaltungen wie des „Klystrons" und des „Rhum-

batrons" vertraut gemacht. Nach wieder einem allgemeineren Thema „Wellenausbreitung", das den Aufgabenkreis des von Berlin nach München verlegten Amtes für Wellenausbreitung der Deutschen Reichspost beschreibt, behandeln H. F. MAYER und E. HÖLZLER die Möglichkeiten einer Steigerung der Übertragungsgüte im Funksprechverkehr Berlin-New York. Durch Benutzung der Einseitenbandübertragung, besonderer Antennen und Amplitudenregler war es gelungen, diese Verbindung, die am 10 Juli 1940 in Dienst gestellt, inzwischen infolge des Krieges wohl wieder aufgehoben ist, insbesondere was Lautstärke, Linearität und Geräuschfreiheit angeht, einer guten Sprechverbindung auf Leitungen gleichwertig zu machen. Die folgenden 3 Arbeiten F. SCHRÖTER, „Gedanken zur Fernsehausbreitung", G. OTTERBEIN, „Das farbige Fernsehen", H. ENGLER, „Formengesetze der Fernsehsendung", suchen die mögliche technische Entwicklungsrichtung dieses jüngsten Zweiges der Nachrichtentechnik zu ergründen. In der anschließenden Abhandlung „Tageslichtdurchleuchtung" von H. LORENZ wird die Verbesserungsmöglichkeit der medizinischen Röntgendurchleuchtung mit Mitteln der Fernsehtechnik bei dem augenblicklichen Stand dieser Technik abgelehnt. Wieder zwei allgemeinere Themen „Die regelmäßig erscheinende Deutsche Fernmeldeliteratur von W. WALDOW und „Die rassische Bedingtheit physikalischer Forschungsmethoden" von H. TEICHMANN beschließen den wegen seiner Vielseitigkeit besonders interessanten Band. GRÜTZMACHER

W. GOHLKE: **Quarzdruckmeßgeräte hoher Eigenfrequenz. Schwingungseigenschaften und Abhilfe gegen die Störung durch Massenkräfte.** VDI-Verlag GmbH., Berlin NW 7. VDI-Forschungsheft 407. 25 S. 59 Abb. März/April 1941. Preis 5,— RM.

Zu der im Institut für Motorenforschung der Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring, Braunschweig, entstandenen Arbeit hat der Leiter dieses Instituts, Prof. Dr.-Ing. E. SCHMIDT ein Vorwort geschrieben, in dem die Anforderungen umrissen werden, die an Geräte zur Untersuchung des Druckverlaufs in Verbrennungsmotoren gestellt werden müssen.

Die im Verbrennungsraum vorkommenden Stoßwellen mit sehr steiler Front erfordern Druckmeßgeräte sehr hoher Eigenfrequenz (möglichst 60000 Hz) und, da diese Wellen nicht immer senkrecht auf das Druckelement auffallen, sehr kleiner geometrischer Ausdehnung (kleine Richtwirkung; im heißen Gas $\lambda_{60000} = 1{,}7$ cm!). Außerdem ist es erwünscht, daß die Druckmeßgeräte in normale Zündkerzengewinde von 14 mm Durchmesser eingebaut werden können. Wegen der auftretenden Erschütterungen durch den Motor ist eine erschütterungsunempfindliche Aufhängung notwendig.

Der Verfasser beschreibt im ersten Teil der Arbeit zunächst die an sich bekannten Möglichkeiten der Anzeige durch Schleifen- und Kathodenstrahloszillographen und die dazugehörigen Gleichstrom- und -spannungsverstärker. Bei der Verwendung von Quarzdruckmeßgeräten für Messungen im Verbrennungsraum von Motoren ist folgendes zu beachten: Zum Schutz des Quarzes vor den heißen Verbrennungsgasen müssen Übertragungsglieder angeordnet werden, die außerdem lineare und konstante Eigenschaften und im Interesse hoher Eigenresonanz kleine Masse und kleine Elastizität haben müssen. Gaskanäle als Übertragungsglieder scheiden wegen ihrer tiefliegenden Eigenfrequenzen aus. Die Ausfüllung des Zündkerzengewindes mit einem Druckübertragungskolben bringt naturgemäß eine niedere Eigenfrequenz des Quarzsystems. Einen Ausweg bietet die Anordnung des Quarzdruckelements im Zündkerzengewinde, wobei man mit kleiner Zusatzmasse vor dem Quarz auskommt, aber kleinere Empfindlichkeit wegen der kleineren Fläche und schwierigere Wasserkühlung eintauscht. Erschütterungen und die Art der Einspannung sollen das Meßergebnis nicht beeinflussen. Die Druckgeberzuleitung darf bei Erschütterungen keine Kapazitätsänderungen haben. Um eine satte Berührung der Flächen von Quarzen und Übertragungsgliedern zu erreichen, ist auch bei bestem Schliff eine Vorspannung nötig, die durch Plattenfedern oder die vorteilhaftere Federhülse erzeugt werden kann.

Für die Bestimmung der Schwingungseigenschaften (Frequenzkurve) von Schallempfängern steht, wenn unmittelbare Schallfeldeichung wegen des Fehlens von ausreichend großen Schalldrücken und Druckkammereichung außerdem noch wegen der hohen Frequenzen nicht in Frage kommen, sowie aus der Ausschwingkurve bei mechanischer Stoßerregung wegen der mehreren Resonanzen wenig entnommen werden kann, die Ausnützung des reziproken Effekts — bei Quarz des reziproken piezoelektrischen Effekts (etwa analog dem Ersatz des Schalldrucks beim Kondensatormikrophon durch elektrostatische Kräfte) — zur Verfügung. (Es muß allerdings bemerkt werden, daß die Eichung mittels des reziproken Effekts die Schwingungseigenschaften des Meßlings als Sender liefert, während er als Empfänger betrieben wird, so daß unter Umständen Einflüsse nicht festgestellt werden, die nur beim Empfängerprinzip auftreten — Oberflächeneigenschaften, Schalldrucktransformation u. a.; d. Ref.) Meistens wird dann in bekannter Weise entweder der abgegebene Schalldruck mit einem Schallempfänger oder die Amplitude mit der kapazitiven Methode gemessen. Wegen der störenden Interferenzerscheinungen (stehende Wellen) zwischen Meßling und

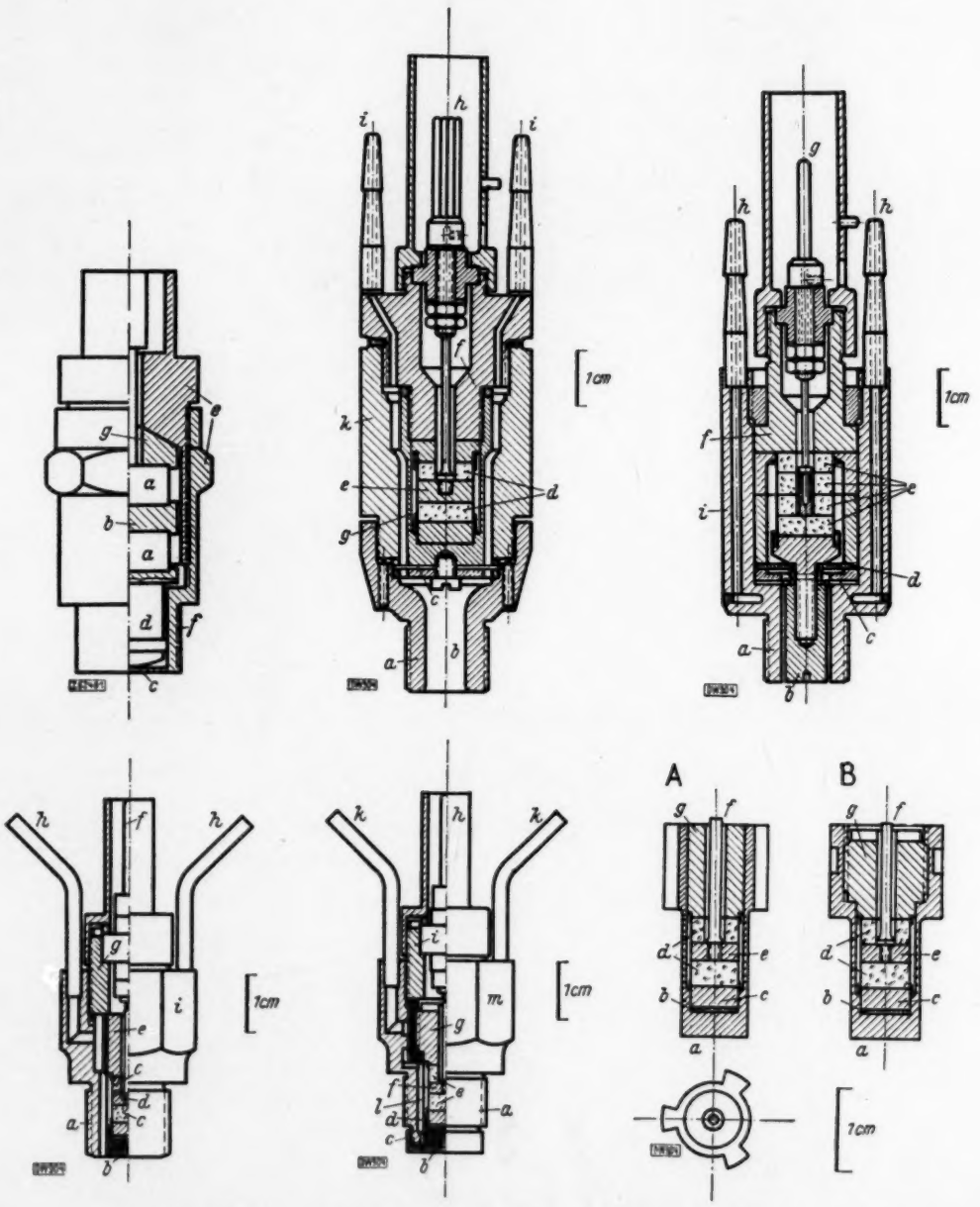


Abb. 1. Die untersuchten Druckgeber: von links nach rechts: 1. älterer handelsüblicher Druckgeber, 2. Druckgeber nach MEURER, 3. Druckgeber mit Plattenfedervorspannung, 4. Druckgeber mit geschweißter Federhülse, 5. Druckgeber mit verschraubter Fede hülse und Bodenkappe, 6. (A) Federhülse, geschweißte Ausführung, 7. (B) Federhülse, geschraubte Ausführung (2—7 eigene Bauarten)

Mikrophon hat der Verfasser die kapazitive Methode vorgezogen. (Da im vorliegenden Falle kleinste Amplituden zu messen waren — 3 Zehnerpotenzen kleiner als Lichtwellenlängen; daher waren auch optische Interferenzmethoden unbrauchbar — konnte auch bei kleinem Abstand die Fläche der Elektrode gleich der Quarzfläche gemacht werden, ohne daß Rückwirkungen durch die Meßanordnung auftreten; d. Ref.)

Die Messungen wurden durchgeführt an handelsüblichen sowie an im Institut hergestellten Druckgebern (vgl. Abb. 2. Leider sind die Ordinaten nicht im logarithmischen Maßstab aufgetragen, so daß in dem wichtigsten Bereich unterhalb der Re-

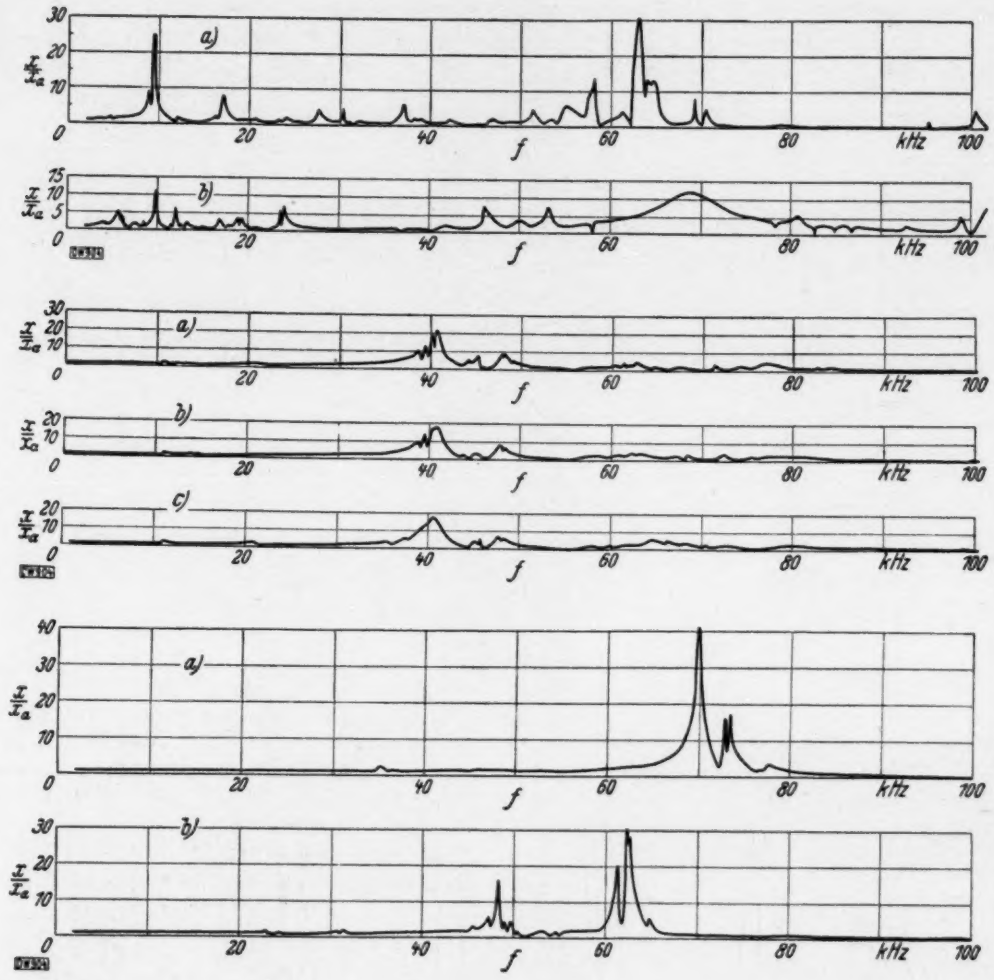


Abb. 2. Resonanzkurven der Druckgeber: Oben: älterer handelsüblicher Druckgeber, a) ohne, b) mit Masse. Mitte: Druckgeber eigener Bauart mit verschraubter Hülse, a) mit Masse 3,6 kg, b) mit Masse 0,73 kg Gewicht, c) mit Masse 0,73 kg Gewicht und vergrößerter Steckermasse. Unten: Federhülsen a) geschweißter, b) geschraubter Ausführung

sonanz nur eine kleine Zeichengenauigkeit erreicht wird) und ergaben die Überlegenheit der eigenen Bauarten, die zum Teil bis 30000 Hz bzw. bei Verzicht auf den Einbau in das Zündkerzengewinde bis 60000 Hz brauchbar sind (vgl. Abb. 2). Bei der erschütterungsunempfindlichen Bauart mußten Schwingsystem und Gehäuse (Stift) durch die Ausführung der Verbindung Mittelelektrode-Stift als sehr weiche Wendelfeder zur Vermeidung von Nebenresonanzen entkoppelt werden. Die geschweißte Ausführung der Federhülse ergab sich als der geschraubten überlegen durch eine höhere Lage der Eigenresonanz.

Der zweite Teil der Arbeit befaßt sich mit der Beseitigung der Störungen durch die Massenkräfte bei Erschütterungen. Es ist nach den Überlegungen und Versuchen des Verfassers über die Charakteristiken von Plattenfedern vorteilhaft, die Vorspannung der Quarze nicht durch Plattenfedern — die dabei nichtlinear arbeiten — sondern durch eine Federhülse zu erzeugen, so daß die dann immer gleichen Federkräfte der nunmehr entspannten Plattenfedern für erschütterungsunempfindliche Aufhängung auf den Quarzoberflächen entgegengesetzt gleiche Ladungen erzeugen. Zur Aufhebung des Einflusses eines Gasdrucks (einseitige Vorspannung der Plattenfedern) wird eine Gasabdichtungsmembran mit kleinem Spalt vorgeschlagen und verwendet.

BIERL

R. B. Abbott and G. H. Purcell. **Physical Properties of Wood for Violin Construction.** J. Acous. Soc. Am. 13 (1941), S. 54—55.

Die Verfasser messen physikalische Konstante (Dichte, Elastizitätsmodul längs und quer zur Faser, elektrische Leitfähigkeit bzw. Feuchtigkeitsgehalt, Dämpfung) von neun verschiedenen Hölzern. Die Werte schwanken verhältnismäßig stark innerhalb derselben Holzart, was zu einer Mittelwertbildung führt. Angaben über die Meßmethoden fehlen; es wird versichert, daß sie weder kompliziert noch kostspielig sind.

Proben von Fichtenholz werden in größerem Umfange untersucht. Sie waren vorher von Klavierbauern nach für sie brauchbaren und unbrauchbaren Stücken geordnet worden. Die gemessenen Konstanten ließen vorerst keinen Grund für eine solche Ordnung erkennen. Man kommt aber zu einer Art Übereinstimmung mit dem Urteil der Klavierbauer, wenn man jeder gewonnenen Konstanten noch ein gewisses Gewicht beilegt — d. h. also wohl, jede mit einem anderen Faktor multipliziert (über dessen Größe nichts ausgesagt wird) — und diese so modifizierten Konstanten einfach addiert. Die Dimensionen werden dabei vernachlässigt, und es ergeben sich Werte von 115 bis 29, wobei die 10 höchsten Werte (im ganzen wurden 39 Fichtenholzproben untersucht) von den brauchbaren Stücken herrühren, während die tieferen Werte in ungefähr gleichem Maße beiden Holzqualitäten zugeordnet sind. Dieses Verhalten ist nach den Verfassern kaum dem Zufall zuzuschreiben und verdient weitere Untersuchung.

Meinel

NACHRICHTEN

Reichspostminister Dr. Ing. e. h. **Wilhelm Ohnesorge** vollendete am 8. Juni 1942 das 70. Lebensjahr. Wir haben das vom Kampf und rastloser Arbeit erfüllte Wirken des Ingenieurs und Staatsmannes schon früher gewürdigt, als der Führer ihn 1937 an die Spitze der Deutschen Reichspost berief. Der erschöpfende Einsatz von Technik und wissenschaftlicher Forschung für den neuzeitlichen Ausbau des Nachrichtenwesens einerseits sowie die restlose Wiederherstellung der Deutschen Reichspost als eine Hoheitsverwaltung des Reiches und als ein den Gedankenaustausch vermittelndes Kulturinstitut andererseits sind seitdem das Werk, das er schon seit der Machtübernahme als Staatssekretär eingeleitet hatte und das, was die Bemühungen um den Fortschritt der Nachrichtentechnik betrifft, mit seinen eigenen wissenschaftlichen Arbeiten zurückreicht bis in die Jahre vor dem Weltkrieg. Damals entwickelte er in einer Zeit, die weder in der technischen Akustik noch besonders in der Verstärkertechnik nennenswerte Betriebserfahrungen besaß, eine leistungsfähige Opernübertragung, die ohne Anwendung von Verstärkern in den Jahren 1911 bis 1918 regelmäßig die Aufführungen des Opernhauses Berlin durch Lautsprecher übertrug. Durch Gruppenschaltungen von geeigneten Kohlemikrophonen und Lautsprechern wurden die besonders schwierigen energetischen Fragen dieses Problemes gelöst. Es ist bemerkenswert, daß damals auch die seitenrichtige Zuordnung der Mikrophongruppen vor der Bühne zu den Lautsprechergruppen im Wiedergaberaum zur Anwendung kam, so daß diese Übertragungen gleichzeitig wohl zu den ersten überhaupt praktisch

durchgeführten stereophonischen Übertragungen zählen. Im Jahre 1912 gelang es bereits, diese Operndarbietungen auch über eine 500 km lange Fernleitung nach Danzig-Langfuhr zu übertragen.

In diesen Jahren begannen auch seine Arbeiten auf dem Gebiet des Fernsprechweitverkehrs, die zu der grundlegenden Erfindung der nach Ohnesorge benannten Vierdraht-Schaltung führten. Sie fand ihre erste wichtige Anwendung während des Weltkrieges, als Ludendorff von der unter Ohnesorges Leitung stehenden Telegraphendirektion des Großen Hauptquartieres Fernsprechweitverbindungen von mehr als 1000 km Länge, darunter die Verbindung von Mezières (Frankreich) mit Konstantinopel verlangte und erhielt. Durch Verleihung des Eisernen Kreuzes I. Klasse ehrte damals der Erste Generalquartiermeister diese technische Leistung.

Nach dem Weltkrieg nahm er während seiner Tätigkeit als Abteilungsdirektor der Oberpostdirektion Berlin trotz der sich häufenden Verwaltungsarbeit in den wenigen freien Stunden das elektroakustische Problem der Opernübertragung wieder auf. Er entwickelte ein dem Verwendungszweck besonders angepaßtes hochwertiges Kohlemikrophon, das dann auch dem Rundfunk zugute kam.

Als nach der Machtübernahme und endgültig seit 1937 die Leitung der Deutschen Reichspost in seiner Hand lag, wurde der technische Fortschritt des Nachrichtenwesens und die wissenschaftliche Forschung als wichtigstes Mittel zur Entwicklung und Vervollkommnung technischer Möglichkeiten auf breitester Grundlage gepflegt. Leitender und übergeordneter Grundsatz war hierbei, die Reichspost im Dienste des Volkes zu einem höchstwertigen Instrument der Nachrichtenübermittlung zu machen und die entgegenstehenden Gesichtspunkte einseitiger finanzieller Erfolgswirtschaft, die aus den Jahren vor der Machtübernahme überkommen waren, zu tilgen. Dem neuen Dienstzweig des Fernsehens, dessen Entwicklung er schon früher maßgebend beeinflußt hatte, wandte er seine ganze Aufmerksamkeit zu und veranlaßte durch die Schaffung des Fernseh-Sprechdienstes sowie durch den sende- und empfangsseitigen Ausbau des Fernsehrundfunks eine Gestaltung, die allen Kreisen die Teilnahme an diesem Nachrichtenmittel ermöglichen wird. Die Schaffung der Fernsehsender, des Breitbandkabelnetzes und des Fernseh-Einheitsempfängers sind wichtige Stationen auf diesem Wege. Für die wissenschaftliche Bearbeitung der Fragen des Fernsehens und der übrigen Probleme des Fernmeldewesens gründete er 1937 die Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost; sie wird zu einem großzügigen Forschungsinstitut ausgebaut.

Infolge dieser systematischen Förderung des technisch-wissenschaftlichen Fortschrittes konnte die Deutsche Reichspost in den Freiheitskampf des deutschen Volkes mit einem Rüstzeug eintreten, das auch über die eigentliche Nachrichtentechnik hinaus umfassenden Einsatz ermöglichte. Die Beiträge für die drahtlose Navigation der Luftwaffe sind gelegentlich genannt worden, die übrigen werden erst nach dem Kriege gewürdigt werden können.

Auch der rechtswissenschaftlichen und verwaltungsrechtlichen Seite des Nachrichtenwesens hat der Minister seine Aufmerksamkeit gewidmet. Er rief 1941 ein gemeinsames Institut für Postwesen an der Technischen Hochschule Darmstadt und an der Universität Frankfurt (Main) ins Leben. An der Universität Heidelberg richtete er ein besonderes Institut zur Erforschung des Weltpost- und Weltnachrichtenwesens ein; ein weiteres Institut für Postgeschichte an der Universität Wien wird folgen.

Zahlreiche Ehrungen sind dem Minister während seiner rastlosen Tätigkeit zuteil geworden. 1929 verlieh ihm die Technische Hochschule Stuttgart die Würde eines Dr. Ing. e. h., er wurde Vorsitzender des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, Mitglied der Akademie für deutsches Recht, des Kuratoriums für Schwingungsforschung und anderer wissenschaftlicher Körperschaften. Am 1. Mai 1941 ernannte ihn der Führer zum „Pionier der Arbeit" und ehrte damit gleichzeitig die Verdienste des Staatsmannes und nationalsozialistischen Gefolgschaftsführers, von denen wir hier nicht gesprochen haben.

Die akustische Wissenschaft, die dem Minister durch seine eigenen Arbeiten auf elektroakustischem Gebiet stets nahe gestanden hat, wünscht ihm noch viele Jahre weiterer schöpferischer Tätigkeit in seinem verantwortungsvollen Amt. TRAGE

Verantwortlicher Schriftleiter: Oberregierungsrat Dr. Martin Grützmacher, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig, Königstr. 2. — Druck: A. Heine G. m. b. H., Gräfenhainichen. — „I. v. W. g." — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 1. — Printed in Germany

Praktische Lärmbekämpfung

nach wissenschaftlichen Erkenntnissen

gegen Schallübertragung durch Bauteile, gegen Halligkeit lärmerfüllter Räume, zur Hörsamkeitsregelung von Sälen, gegen Erschütterungsübertragung von Maschinen

Ausstattung von Schallmeßräumen

Bewährte Dämmstoffe und Methoden
Erste Referenzen

Werner GENEST GmbH. - Berlin-Neukölln A
Hermannstr. 258, Tel. 602066
Stuttgart-N Wien IV/50

GENEST

Die physikalischen und technischen Grundlagen der Schalldämmung im Bauwesen

Von Dr. **ARNOLD SCHOCH**, Berlin
Institut für Schwingungsforschung an der Technischen Hochschule Berlin

VIII, 119 Seiten mit 87 Abbildungen. 8°. Ganzleinen 6,20 RM.

Die Bauzeitung: Durch die Anwendung elektro-akustischer Hilfsmittel war es in den letzten Jahren möglich, die akustischen Untersuchungsmethoden außerordentlich zu verfeinern. Hieraus ergaben sich auch große Fortschritte auf dem Gebiet der Schalldämmung, die in dieser wertvollen Schrift niedergelegt sind. Sie behandelt u. a.:

die Einführung in die physikalischen Grundlagen,
die Schall- und Erschütterungsempfindungen und ihre Beziehungen zu den physikalischen Schallgrößen,
den Schall in geschlossenen Räumen und überhaupt die Raumakustik,
den Luftschalldurchgang durch Öffnungen,
die Übertragung von Luftschall durch Wände und den Körperschall.

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

Einführung in die Vierpoltheorie der elektrischen Nachrichtentechnik

Von Professor Dr. R. Feldtkeller, Stuttgart

2., verbesserte und erweiterte Auflage / August 1942

X, 169 Seiten mit 94 Abb. 8°. Broschiert 8,80 RM. Geb. 10,— RM.

Die neue Ausgabe des bekannten Buches ist wesentlich verbessert und erweitert worden. Die wichtigen Fortschritte der Vierpoltheorie seit Erscheinen der ersten Auflage sind berücksichtigt. Einige Abschnitte sind neu geschrieben, andere durch viele Beispiele vermehrt, welche die Anwendung der Vierpoltheorie in der elektrischen Nachrichtentechnik veranschaulichen. Neu hinzugekommen ist auch ein Kapitel über äquivalente Schaltungen, da dieses Thema für die Praxis zunehmend an Bedeutung gewinnt. Eingefügt sind ferner drei Zahlentafeln, ein Verzeichnis der Abkürzungen, ein Schrifttumsverzeichnis und ein Stichwortverzeichnis.

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG